

# **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 2612R011 – Elektrické informační a řídicí systémy

## **Displej LED zabudovaný v jízdním kole**

## **LED display inbuilt in bicycle wheel**

### **Bakalářská práce**

Autor:

**Ondřej Mach**

Vedoucí práce:

Ing. Lubomír Slavík, Ph.D.

Konzultant:

Ing. Tomáš Martinec, Ph.D.

**V Liberci 16. 5. 2014**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej Mach**  
Osobní číslo: **M10000319**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**  
Název tématu: **Displej LED zabudovaný v jízdním kole**  
Zadávající katedra: **Ústav mechatroniky a technické informatiky**

### Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte problematiku jednočipových mikroprocesorů a zvolte nejvhodnější typ z hlediska spotřeby, rychlosti a dostupnosti vývojových prostředků.
2. Navrhněte hardware a software inteligentního displeje LED zabudovaného v jízdním kole.
3. Realizujte funkční vzorek displeje LED s několika světelnými lištami.

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace

Rozsah pracovní zprávy: 30–40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- [1] **Ďaďo, S., Kreidl, M.: Senzory a měřicí obvody. Vydavatelství ČVUT Praha 1999**
- [2] **Pinker, J.: Mikroprocesory a mikropočítače. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 159 s. ISBN 80-730-0110-1.**
- [3] **Katalogové listy součástek firem Microchip, ST, NXP.**
- [4] **Krejčířík, A.: Napájecí zdroje III., BEN 2010, ISBN 978-80-7300-296-1**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Lubomír Slavík, Ph.D.**

Ústav mechatroniky a technické informatiky


Konzultant bakalářské práce:

**Ing. Tomáš Martinec, Ph.D.**


Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2014**

  
prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.  
děkan

L.S.

  
doc. Ing. Milan Kolář, CSc.  
vedoucí ústavu

V Liberci dne 10. října 2013



## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:





## Poděkování

Touto cestou bych velmi rád poděkovat především vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Lubomíru Slavíkovi, Ph.D., za cenné rady odborného charakteru, pomoc při celkovém zpracování textu a fotodokumentace. Svým rodičům za neocenitelnou podporu po celou dobu studia. Dále bych nerad zapomněl na své spolužáky Zbyška Zapadlíka, Marka Valšíka a Martina Huňka, kteří se svými podnětnými radami a letitými zkušenostmi také velkou částí podepsali na konečné podobě bakalářské práce.



## **Anotace**

Cílem práce je návrh a realizace světelného displeje LED, zabudovaného do zadního kola jízdního kola. Displej je realizován pomocí pásku s diodami LED tak, aby nápis byl statický i při různých otáčkách kola. Hlavními problémy práce se jeví jednak softwarová synchronizace rozsvícení pásku LED, mechanické provedení celého systému s ohledem na vysoké vibrace, napájení pásku LED a výběr dostatečně výkonného a zároveň příkonově úsporného mikroprocesoru pro řízení s více pásy LED.

## **Klíčová slova**

Světelný LED display, display na kolo, řídicí jednotka, vykreslovací software

## **Annotation**

The aim of this work is the design and implementation of LED light display built into the rear wheel of the bicycle. The display will be implemented using a tape with LEDs so that the inscription could be still at differing wheel speeds. There are several problems to solve: synchronization of LED lighting, mechanical design of the entire system due to high vibration, supplying of LED tape and selection of low power microcontroller for controlling multiple LED strips.

## **Key words**

LED bicycle wheel display, control unit, rendering software



## Obsah

Zadání .....	2
Anotace .....	5
Klíčová slova .....	5
Seznam obrázků a tabulek .....	7
Seznam zkratk a použitých výrazů .....	8
Úvod .....	9
1. Fyzikální podstata optického klamu .....	10
2. Teoretická část .....	11
2.1. Lithium polymerové baterie .....	11
2.2. Lithium železo fosfátové baterie .....	13
2.3. Procesory PIC firmy Microchip Technology .....	13
2.4. Integrované stabilizátory .....	14
2.5. Výběr LED diod .....	15
3. Praktická část.....	16
3.1. Mechanické provedení – montáž na kolo .....	16
3.2. Funkční model – 1 x 8 LED .....	18
3.2.1. Řešení hardware .....	18
3.2.2. Řešení software .....	20
3.3. Funkční model – 2 x 12 LED.....	22
3.3.1. Řešení hardware .....	23
3.3.2. Řešení software .....	26
3.4. Funkční model – 4 x 16 LED – buzení pomocí registrů .....	29
3.4.1. Řešení hardware .....	31
3.4.2. Řešení software .....	41
4. Výsledný efekt.....	46
Závěr .....	48
Použitá literatura .....	49
Grafické přílohy bakalářské práce.....	50



## Seznam obrázků

Obrázek 2.1 – Vnitřní struktura propojování článků LiPol akupacků .....	12
Obrázek 2.2 – Schéma spínaného stabilizátoru s regulátorem L5973D .....	14
Obrázek 3.1 – Decentralizace komponent, blokové schéma .....	16
Obrázek 3.2 – Schéma funkčního modelu 1x8 LED .....	18
Obrázek 3.3 – Blokové schéma softwarového algoritmu (model 1x8 LED) .....	20
Obrázek 3.4 – Schéma centrální řídicí jednotky funkčního modelu 2x12 LED .....	22
Obrázek 3.5 – Vlnová délka světla, umístění IR spektra .....	25
Obrázek 3.6 – Centrální řídicí jednotka funkčního modelu 2x12 LED .....	25
Obrázek 3.7 – Blokové schéma softwarového algoritmu (model 2x12 LED) .....	26
Obrázek 3.8 – Vykreslovací lišty a DPS řídicí jednotky funkčního modelu 4x16 LED .....	29
Obrázek 3.9 – Schéma centrální řídicí jednotky funkčního modelu 4x16 LED .....	30
Obrázek 3.10 – Schéma minimálního zapojení PIC32MX440F512H .....	31
Obrázek 3.11 – Schéma vykreslovacích LED bloků funkčního modelu 4x16 LED .....	34
Obrázek 3.12 – Blokové schéma posuvného registru CD74HCT4094 .....	35
Obrázek 3.13 – Kaskádní propojování posuvných registrů .....	37
Obrázek 3.14 – Napěťový převod úrovní logických systémů .....	38
Obrázek 3.15 – Fyzické a softwarové významy pinů centrální svorkovnice .....	40
Obrázek 3.16 – Zjednodušené blokové schéma softwarového algoritmu (model 4x16 LED) .....	41
Obrázek 3.17 – Podoba grafického displeje s obrazovým rozlišením 160x16 pixelů .....	46

## Seznam tabulek

Tabulka 2.1 – Důležitá napětí LiPol článků .....	12
Tabulka 2.2 – Důležitá napětí LiFePO4 článků .....	13
Tabulka 2.3 – Porovnání efektivnosti parametricky podobných diod různých výrobců .....	15
Tabulka 3.1 – Srovnání klíčových parametrů stabilizátorů L7805A a LF50AB .....	24
Tabulka 3.2 – Pravdivostní tabulka posuvného registru CD74HCT4094 .....	36
Tabulka 3.3 – CPU vývody: Možnosti a funkcionalita fyzického rozhraní .....	39



## Seznam zkratk a použitých výrazů

Akupack	Sériové, paralelní či obvykle smíšené propojení více článků baterie
HardCase	Pevné pouzdro baterie, opakem jsou nepevněná provedení
LiPol	Lithium polymerové baterie (akumulátory)
LiFePO <sub>4</sub>	Lithium železo fosfátové baterie
RoHS	Směrnice omezující používání nebezpečných látek v elektr. zařízeních
RISC	Redukovaná instrukční sada (Reduced Instruction Set Computing)
RAM	Paměť s přímým přístupem (Random-Access Memory)
ROM	Nevolatilní paměťové médium, obsah od výrobce (Read-Only Memory)
EEPROM	Paměť (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)
LED	Dioda emitující světlo (Light-Emitting Diode)
THT	Typ elektronických součástek, pájených ze spodní strany plošného spoje
SMD	Typ elektronických součástek, pájených z vrchní strany plošného spoje
DDPAK	Typ pouzdra součástky (PPAK, PENTAWATT, TO-220, TQFP64)
TTL	Tranzistorová logika integrovaných logických obvodů
CMOS	Technologie log. obvodů (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor)
HC	Vysokorychlostní logické obvody (High speed CMOS)
HCT	Obdoba log. obvodů HC s výstupy kompatibilními s TTL technologií
LDO	Nízko úbytkové typy stabilizátorů / regulátorů (Low-dropout regulator)
ASM	Strojový programovací jazyk assembler, vyšší využívané jsou pak C, C++
IR	Infračervené spektrum emitovaného záření (Infrared radiation)
SPI	Sériové periferní rozhraní (Serial Peripheral Interface)
I <sup>2</sup> C	Multi-masterová počítačová sériová sběrnice (Inter-Integrated Circuit)
IrDA	Komunikační infračervený port (Infrared Data Association)
One-Wire	Jednovodičová komunikační sběrnice teplotních senzorů firmy Dallas
PWM	Pulzně šířková modulace (Pulse Width Modulation)
FIFO	Technologie paměťového záznamu (First In First Out), opak LIFO
ESD	Krátkodobý elektrostatický výboj
EOS	Elektrostatické přepětí
Low-ESR	Vlastnost kondenzátorů týkající se velikosti vnitřního odporu



## Úvod

Cílem této bakalářské práce je vyvinout a realizovat funkční model LED displeje zabudovaného v drátech jízdního kola. Celý tento vizuální efekt je primárně založen na nedokonalosti lidského oka. K charakteristické iluzi dochází konkrétněji jeho fotochemickou setrvačností, která je umocněna vyšším kontrastem mezi světelnými bloky a tmavším pozadím.

Teoretická část popisuje napájecí akumulátory, jejich vlastnosti, kapacity, hodnoty dostupných napětí a srovnává technologické výhody či nevýhody. Dalšími teoretickými body jsou pak výhody mikroprocesorů PIC firmy Microchip Technology, problematika integrovaných lineárních a spínaných stabilizátorů (jejich ztrátového výkonu, rozměry) a na závěr výběr a porovnání účinností luminiscenčních diod.

Praktická část, v první fázi, rozebírá mechanické provedení, rozmístění a montáž hardwaru na kolo. Blokové schéma decentralizace komponent je uvedeno, bez detailnějšího popisu, přímo ve své finální podobě, neboť jeho technologický vývoj by svou podstatou spadl spíše pod fakultu strojní. Vše je koncipováno z diskrétních částí a tedy připraveno jak pro amatérskou tak i sériovou výrobu.

Kapitoly funkčních modelů zprvu uvedou hlavní důvody vzniku dané verze a popíší nové vlastnosti výrobku. Texty jsou ve svém obsahu podrobněji strukturovány na hardwarové a softwarové řešení. V hardwarovém řešení, vždy podle uvedeného obvodového schématu, je slovně detailně rozebrána elektronika centrální řídicí jednotky s technologií snímání senzoru. U funkčního modelu ovládacího panelu 4x16 LED, dochází k implementaci elektronických prvků i do těl vykreslovacích bloků a proto jsou zde kapitoly o tuto problematiku obsáhlejší. Přechodový systém konektorů posledního vykreslovacího systému, spolu s hardwarovými a softwarovými významy pinů je znázorněn grafickou ilustrací. Softwarové řešení zaznamenává grafickým vývojovým diagramem chod hlavního řídicího programu, který je dále podrobněji slovně vysvětlen. U procesoru PIC32MX440F512H, vzhledem k jeho složitosti, byl kladen důraz zejména na technický popis klíčových registrů a správné nastavení vnitřních struktur.



## 1. Fyzikální podstata optického klamu

Lidské smysly, přestože jsme na nich každodenně zcela závislí a řídíme se signály, které nám o okolním světě zprostředkovávají, zdaleka nepatří k příliš dokonalým snímacím ani zobrazovacím senzorům. Zkreslení některých podstatných informací může způsobovat katastrofální následky, například dopad světelného paprsku na slepou skvrnu oka. Jiné naopak s jistou výhodou lze velmi prakticky v celé řadě dnešních aplikací využít. V této souvislosti se míní nedokonalost lidského oka s jeho zpožděním, respektive fotochemickou setrvačností.

Lidské oko nezvládá v reálném čase zpracovávat kontinuální tok světelné informace, protože reakce na světelný podnět, následný průchod nervovým systémem a vyhodnocení informací trvá určitou dobu. Tento čas odpovídá přibližně jedné šestnáctině sekundy. Pokud tedy dorazí světelné signály s kratším časovým odstupem, vnímá oko sledovanou scénu spojitě, v pohybu. Tento jev se využívá na filmových plátnech již od minulého století a také bude hlavním předpokladem pro následující vývoj bakalářské práce. [1]

Definované zpoždění je empirické, neboť se liší pro přímý a periferní úhel pohledu. V přímém směru pohledu má lidský mozek tendenci potlačovat blikání výrazněji, navíc je hodnota založena i na kontrastu zdroje světla a jeho pozadí. Obecně platí, podobně jako u CCD nebo CMOS digitálních optických snímačů, že s klesající viditelností roste expoziční čas. Zpomalená rychlost uzávěrky umožňuje intenzivnější ozáření snímáče, přeneseně řečeno sítnice oka a tím vzniká věrohodnější spojitější výsledný obraz.



## 2. Teoretická část

Teoretická část se z úvodu hlouběji zabývá dostupnými typy napájecích akumulátorů, bez kterých by celkový projekt neměl šanci vzniknout. Výběr se specializuje především na modelářské kategorie baterií, jenž svými parametry vyhovují i pro následující aplikaci. Cílem není výběr konkrétního typu, ale obecné představení základních parametrů, kapacity dostupných napětových hladin a slučování v rámci akupacků. Dále jsou stručně rozebrány výhody procesorů PIC firmy Microchip, problematika lineárních a spínaných stabilizátorů a výběr LED diod ve smyslu kompromisu poměru svítivosti a proudu.

### 2.1. Lithium polymerové baterie

Lithium polymerové baterie (Li-poly) představují v současné době jeden z nejmodernějších zdrojů akumulované energie. Vyznačují se především velmi příznivým poměrem hmotnosti na energetickou hustotu. Jmenovité napětí článku odpovídá 3,7V. Při experimentování s tímto typem baterie je ale nutné dávat si zvýšený pozor na dva hlavní faktory – napětová bilance a teplota. Přebití článku přes hranici 4,2V či naopak vybití pod 2,75V znamená obvykle nevratné destruktivní poškození. Hodnota kritického napětí zpravidla nelze měřit pouze na výstupních svorkách akumulátoru v celkovém součtu, ale musí se korigovat pomocí balančního konektoru. Tento konektor zprostředkovává individuální přístup ke všem dílčím článkům. [2]

Za účelem zvýšení napájecího napětí a obvykle i kapacity se jednotlivé články seskupují do akupacků. Akupack představuje sériové, paralelní, či smíšené propojení článků v rámci jednoho obalu baterie. Při sériovém zapojení LiPolek se sčítá jejich napětí, při paralelním zapojení se sčítají naopak kapacity. S tím jsou poté spojena i pravidla značení:

**2S 5000mAh** – 2S označuje zapojení dvou článků do série. V akupacku jsou dvě baterie o stejné kapacitě 5000mAh, přičemž se sčítá jejich napětí. Celkové napětí akupacku proto odpovídá 7,4V (2x 3,7V). V případě maximálních hodnot je napětí 8,4V (2x 4,2V).

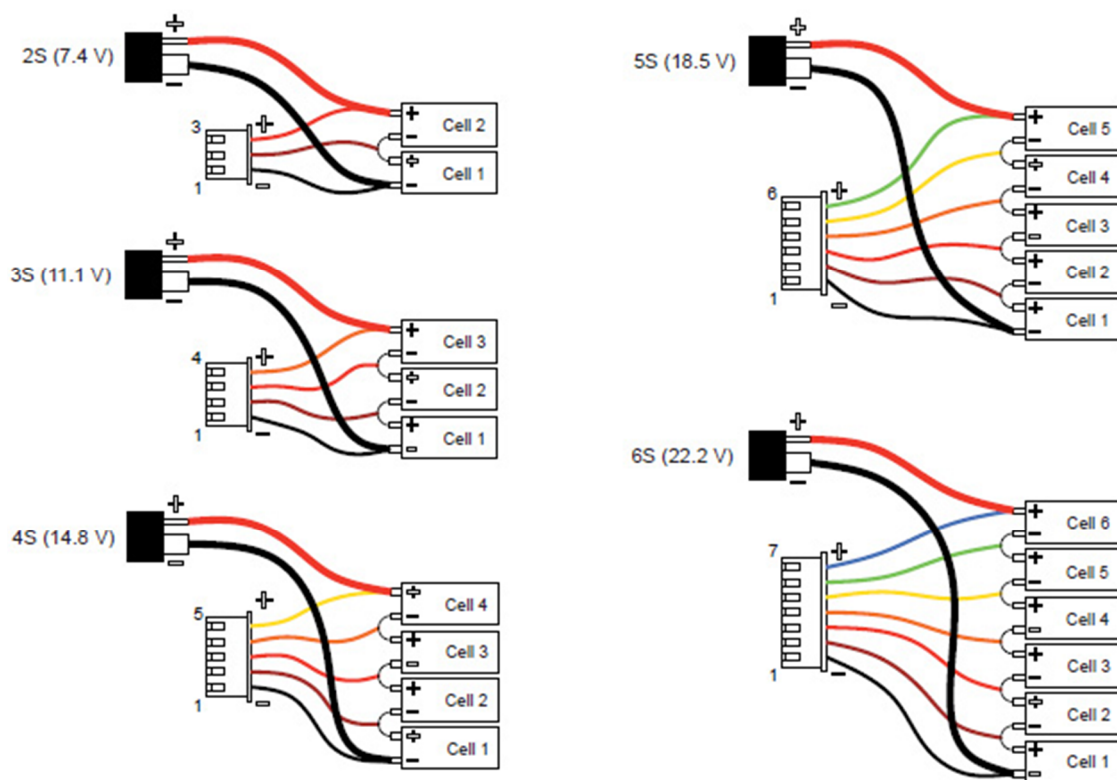


**2S1P 5000mAh** – tento zápis, přestože je po stránce zapojení správný, se zpravidla nevyužívá. V praxi znamená, že akupack zahrnuje pouze dvě sériově zapojené baterie. Jedná se o ekvivalent k variantě 2S 5000mAh a proto se údaj 1P moc neuvádí a zkracuje se jenom na 2S.

**2S2P 5000mAh** – zde je situace trochu složitější. V akupacku jsou zapojeny celkem čtyři články – dvě sériové kombinace baterií po dvou, které jsou paralelně propojeny. Každý z jednotlivých článků má skutečnou kapacitu 2500mAh a napětí 3,7V. Vše se na výstupních svorkách násobí 2x, což vytváří baterii s nominálním napětím  $2 \times 3,7 = 7,4\text{V}$  a kapacitou  $2 \times 2500 = 5000\text{mAh}$ . [3]

Tab. 2.1 – Důležitá napětí LiPol článků

Maximální napětí článku	4,20V
Nominální napětí článku	3,70V
Minimální napětí článku	2,75V



Obrázek 2.1 – Vnitřní struktura propojování článků LiPol akupacků



## 2.2. Lithium železo fosfátové baterie

Lithium iron phosphate batteries ( $\text{LiFePO}_4$ ) nebo také  $\text{LiFeYPO}_4$  (s příměsí prvku yttrium) začínají být fenoménem posledních několika let. Spojují v sobě výhody Li-Ion akumulátorů či dříve již známých lithiových baterií. Navíc přidávají schopnosti týkající se vzrůstu počtu nabíjecích cyklů, rychlosti dobíjení, bezpečnosti. Další klady oproti předchozí lithio-polymerové baterii bychom hledali u netoxicity – splňuje směrnici RoHS, dominuje vysokým poměrem kapacity na hmotnostní jednotku (170 mAh/g) a díky náhradě vzácných kovů všude dostupným železem, nízkými výrobními náklady. Pracovní teplotu článků  $\text{LiFePO}_4$  výrobce udává v rozmezí  $-20$  až  $70^\circ\text{C}$ , což je pro využití ve venkovních podmínkách na kole zcela optimálním parametrem. U baterií se navíc neprojevuje paměťový efekt a téměř vůbec netrpí samovybíjením. [4]

Tab. 2.2 – Důležitá napětí  $\text{LiFePO}_4$  článků

Maximální napětí článku	4,25V
Nominální napětí článku	3.2V (3.1 – 3.3V)
Minimální napětí článku	2,50V
Bezpečné maximální napětí článku	4.0V (3.9V)
Bezpečné minimální napětí článku	2.8V

## 2.3. Procesory PIC firmy Microchip Technology

Mikroprocesory PIC firmy Microchip Technology se řadí mezi programovatelné polovodičové součástky. Jsou zde dostupné 8bitové (PIC10, 12, 14, 16 – 18), 16bitové (PIC24), 16bitové digitální signálové (dsPIC30, dsPIC33F) a 32bitové (PIC32) řady. Procesory se vyznačují Harvardskou architekturou, tedy oddělenou pamětí pro program a data. Strojové instrukce jsou zastoupeny nižším počtem (35–70) pevné délky (RISC). Většina instrukcí je vykonávána v jediném hodinovém cyklu. Na rozdíl od mnoha jiných procesorů se zde shodují vnitřní struktury registrů i pamětí, neboť oba systémy pracují s paměťovým médiem RAM. Unikátní vlastností PICů je jejich konstantní, velmi rychlá odezva na zdroje přerušení, která konkrétně trvá tři instrukční cykly. [5]



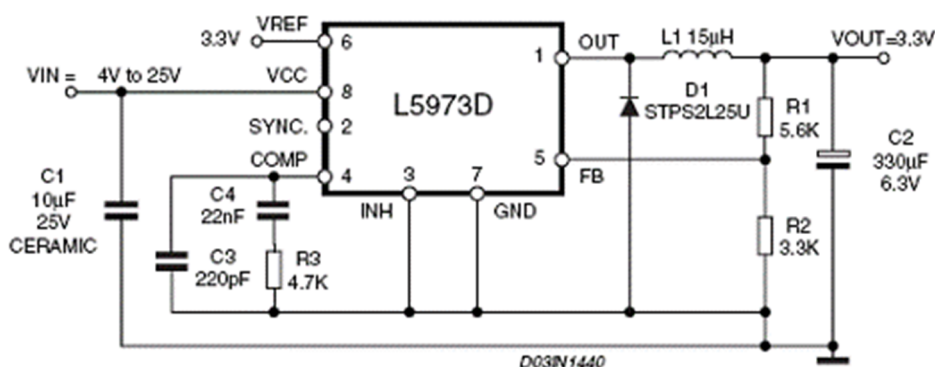
## 2.4. Integrované stabilizátory

Integrované stabilizátory jsou elektronické součástky, pracující na principu integrovaného obvodu, který je schopen udržovat s určitou tolerancí konstantní výstupní napětí nebo proud a to i při definovaných změnách vstupních parametrů.

Lineární integrované stabilizátory jsou velmi rozšířeným prvkem mnoha obvodů. Jejich obliba spočívá ve velmi nízkých pořizovacích nákladech (řádově jednotky korun), malých rozměrech (dostupné v rámci jediného SMD pouzdra) a jednoduchosti zapojení (vyžadují minimum externích součástek). S dostatečnou účinností vynikají zejména v aplikacích, kde nedochází k výrazné redukci vstupních parametrů. Ztrátový výkon lineárního stabilizátoru odpovídá rozdílu napětí na vstupní a výstupní svorce a součinu protékajícího proudu. Tento výkon je nutné odpovídajícím způsobem odvádět.

$$P_{max} = (U_{1max} - U_{2min}) * I_{max} \quad [W; V, A] \quad [1]$$

Spínané stabilizátory se prosazují svoji nespornou výhodou vysoké účinnosti, která dosahuje stejných hodnot pro různé a obvykle i velmi široké poměry vstupního a výstupního napětí. Při redukci vstupního napětí z 15V na výstupních 3,3V jsou schopny pracovat s účinností 80 až 95%, zatímco lineární stabilizátory pouze s 30%. Pro mnohé aplikace je nejvhodnějším řešením hotový DC/DC měnič, který zahrnuje vše potřebné v jednom pouzdře. Spínané stabilizátory lze také vytvořit z diskretních součástek pomocí spínaných regulátorů (typu step down). Tyto stabilizátory se obecně vyznačují podstatně vyšší cenou a pro následující aplikaci zcela neakceptovatelnými rozměry, proto je zde volena technologie lineárních stabilizovaných obvodů. [6]



Obrázek 2.2 – Schéma spínaného stabilizátoru s regulátorem L5973D



## 2.5. Výběr LED diod

LED diody v současné době představují velmi široký sortiment energeticky úsporných světelných zdrojů pro nejrůznější aplikace. Tuto skutečnost podporují i různorodá pouzdra THT (10, 8, 5, 3, 1,8mm), SMD (s označením PLCC, 1206, 0805, 0603, 0402), výkonové 1W, 3W, 5W... a spousty jiných. Dalším udávaným klíčovým parametrem je jejich svítivost, která se pohybuje od jednotek mcd až po desítky kandel. Velikost a typ pouzdra diody bude později definovat vertikální rozměr obrazového bodu, intenzita (respektive svítivost) zase celkový jas displeje.

Světelná účinnost bodového zdroje vystihuje, jak efektivně dochází k přeměně vstupní energie na požadované světelné spektrum. Obdobným parametrem je světelná účinnost záření, která porovnává zastoupení viditelného světla s celkovým vyzářeným výkonem. Oba tyto aspekty jsou shodně značeny písmenem K a jednotkou je lumen na watt. Diody obecně emitují nekoherentní světlo s velmi úzkým frekvenčním spektrem. Pásmo vyzařovaného spektra diody odpovídá chemickému složení použitého polovodiče P-N přechodu a pohybuje se od ultrafialových vlnových délek, přes různé barvy viditelného spektra až po infračervené záření. Požadované napětí propustného směru diody je ovlivňováno emitovanou vlnovou délkou světla. Nižší vlnová délka odpovídá vyššímu vstupnímu napětí  $U_F$ . [7]

Na trhu pro 5mm THT pouzdra se svítivostí nad 20 kandel nejlépe vycházejí výrobci Lucky Light, Optosupply a Wah Wang Holding. Všichni nabízejí velmi obsáhlé seznamy sortimentu, což značně komplikuje jednoznačnou identifikaci nejeftivnějších. Podle poměru svítivosti a proudu při totožném napájecím napětí a barevném odstínu vychází nejlépe typ WW05A3SGQ4-N firmy Wah Wang Holding.

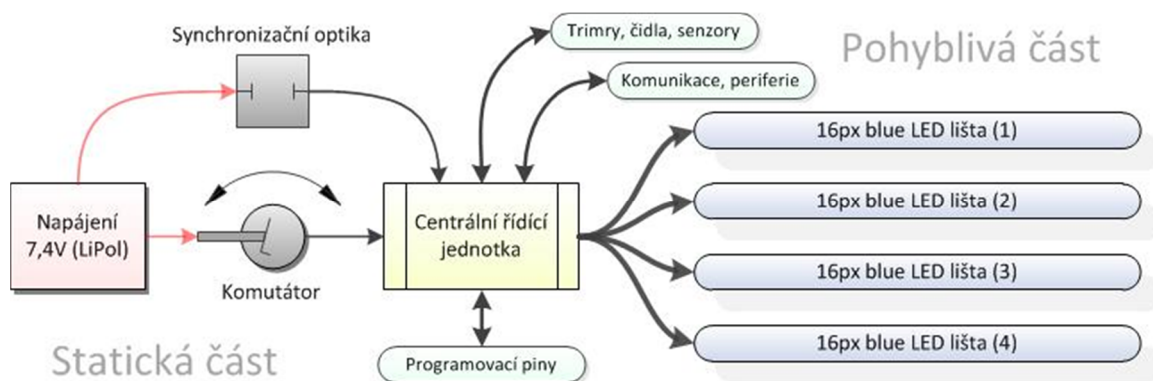
Tab. 2.3 – Porovnání efektivnosti parametricky podobných diod různých výrobců

Označení výrobce	Výrobní typ	$I_F$ [mA]	$I_{V \min}$ [cd]	$I_{V \max}$ [cd]	$\Delta I_V / I_F$ [cd/mA]
LUCKY LIGHT	LL-504BGC-G32CC	20	16	20	0,90
OPTOSUPPLY	OSG38A5C31P	50	25	30	0,55
OPTOSUPPLY	OSG5DA5111A-1V	20	22	25	1,18
OPTOSUPPLY	OSGGD25111E	30	18	22	0,66
OPTOSUPPLY	OSPG5111P	75	50	70	0,80
<b>WAH WANG HOLD.</b>	<b>WW05A3SGQ4-N</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>1,25</b>



### 3. Praktická část

První kapitola Mechanické provedení velmi stručně představí jednotlivé mechanické prvky složené z diskretních částí. Vysvětlí jejich dimenzování, rozmístění, upevnění a využití v rámci celkového projektu. Kapitoly Funkčních modelů prvním odstavcem uvedou hlavní důvody vzniku výrobku. Popíšu elektroniku centrální řídicí jednotky s obvodovým schématem a snímací technikou. Po uvedení blokového schématu softwarového algoritmu je program následně slovně vysvětlen.



Obrázek 3.1 – Decentralizace komponent, blokové schéma

#### 3.1. Mechanické provedení - montáž na kolo

Akumulátor v zastoupení dvoučlánkového LiPol či LeFePO<sub>4</sub> akupacku lze umístit dle požadavků uživatele na dvě místa. První variantou se nabízí speciální vak popruhy zavěšený pod sedlem, který pojme baterii libovolných rozměrů. Jeho výhody spočívají v měkkém provedení, které je preferováno bateriemi v běžných, nezpevněných pouzdrech. Naopak baterie s takzvaným HardCase pouzdrem protáhlých tvarů je možné upevnit k rámu kola na místo horizontálního držáku cyklistické láhve.

Komutátor zprostředkovává, podobně jako v elektromotorech, vodivý přechod mezi statickou a pohyblivou částí. V tomto případě ale neslouží jako mechanický usměrňovač, podle polohy natočení měnící napětíovou polaritu, ale pouze k přenosu kladného napájecího pólu ze statické části rámu kola do pohyblivého středu. Přenos



zprostředkovávají modelářské uhlíky značky Graupner/SJ SPEED - 500 SP RACE, které jsou vybaveny pružinou a kompletním výsuvným systémem. Vyšší počet je volen záměrně, díky lepší dynamické odezvě při přenosu. Protikus komutátorového vybavení tvoří speciální nerezová prstencová plotna s odpovídající povrchovou úpravou. Záporný pól je pak k řídicí jednotce standardně přenášen celokovovou konstrukcí kola.

Centrální řídicí jednotka by podle okolností mohla být umístěna na více místech. S požadavkem jedné vykreslovací LED lišty by tyto dvě části v krajním případě mohly dokonce sdílet společnou obvodovou desku plošných spojů. Tímto by odpadl složitý systém propojování. S přihlédnutím k celkovému vizuálnímu efektu, váze a požadavku zadání o obsluze více světelných prvků je ale nutné odloučení. Řídicí jednotka, díky své nenulové váze, stejně jako světelné lišty, musí být dimenzována pro odpovídající působící síly. Na každé těleso, pohybující se v inerciální vztažné soustavě po zakřivené trajektorii, působí dostředivé zrychlení dle následujícího vztahu:

$$F_o = F_d = ma_d = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r \quad [2]$$

Kde  $m$  je hmotnost sledovaného rotujícího prvku,  $v$  zaznamenává okamžitou rychlost jízdy,  $r$  poloměr křivosti, respektive vzdálenost od středu otáčení,  $a_d = v^2/r$  vystihuje dostředivé zrychlení a  $\omega = v/r$  úhlovou rychlost. Velikost odstředivé síly je pak  $F_o$

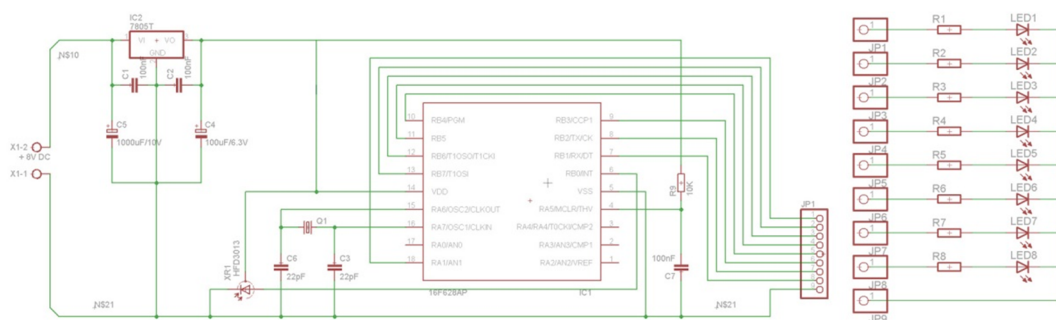
Podle třetího Newtonova zákona vyvolané akci úměrně odpovídá reakce opačného směru, a proto má-li těleso zůstat na místě, je nutné správně zvolit vyhovující pouzdro včetně jeho upevnění. Z dostupného sortimentu se nabízí černý univerzální kryt PP85NC výrobce Supertronic, který po vybavení gumovými kabelovými průchodkami FIX-GR-1 od firmy FIX&FASTEN vytváří navíc dokonalou vlhku odolnou bariéru.

Montáž vykreslovacích světelných panelů zprostředkovává elektroinstalační zacvakávací lišta s výrobním označením Kopos LV 11X10 HA. Jejich délky, počet rozmístěný v okrajové části drátů kola a ostatní parametry, jsou napříč vývoje vždy definovány aktuálními požadavky a verzí stádia vývoje. Axiální posun vlivem odstředivé síly  $F_o$ , vliv vibrací a rotaci vyvíjenou nápořem prostředí kompenzuje šroub DIN933 8.8.



### 3.2. Funkční model - 1 x 8 LED

První, absolutně primitivní funkční model, nastupující ihned po úspěšných testech přenosu napětí do kola, sloužil primárně pro experimentální účely. Na tomto cenově velmi úsporném modelu se vyvíjel koncept mechanického rozvržení, upevnění, systém koncovek a propojování, ale i první řádky programového kódu a ověření principu optického klamu vznikajícího setrvačností lidského oka.



Obrázek 3.2 – Schéma funkčního modelu 1x8 LED

#### 3.2.1. Řešení hardware

Jádrem obvodu se stal velmi rozšířený, energeticky úsporný, osmi bitový procesor PIC16F628A, který disponuje pro následující účely dostatečným počtem pinů. Na výstupy je vyveden plnohodnotný bitově adresovatelný PORTB a částečně omezený PORTA. Výhradně vstupní pin RA5/ $\overline{\text{MCLR}}$ , označován v anglické terminologii též jako „Master clear“, je v aplikaci využíván pro centrální reset celé jednotky. Tato vlastnost upevňuje chod algoritmu při náběhu napájecího napětí. Zejména v momentě přechodových jevů, kdy se nabíjejí kapacity napříč celého zapojení, přidrží kondenzátor C7 procesor na pár mikrosekund v resetovací poloze. Piny RA6/OSC2/CLKOUT2 a RA7/OSC1/CLKIN slouží pro připojení 20MHz krystalového rezonátoru, zajišťujícího přesné taktování procesoru. Frekvence je dále stabilizována připojením výrobcem doporučených keramických kondenzátorů 20pF, které filtrují vznikající vyšší harmonické složky a tím stabilizují přesnost s maximální tolerancí  $\pm 30\text{ppm}$ . Řídící jednotka je napájena přes integrovaný stabilizátor řady L7805, zajišťující požadované napětí TTL logiky. Na jeho vstupních a výstupních vývodech jsou paralelně proti zemi připojeny



keramické a elektrolytické kondenzátory. Keramické kondenzátory, díky minimálnímu vnitřnímu odporu jsou schopny velice rychle, téměř s nulovou odezvou reagovat na ostré proudové špičky. Fungují tedy jako odrušovací prvky blokující nežádoucí náhodné vysokofrekvenční rezonance a zákmity. Naopak elektrolytické kondenzátory zachycují větší, ale zpravidla i pomalejší proudové výkyvy.

Snímání otáček kola bylo zaznamenáváno lineární halovou sondou A1301, nepatrných rozměrů, integrovanou v napájecím komutátorovém systému. V klidovém stavu (žádné významné magnetické pole:  $B=0$ ) výstup  $V_{OUT}$  odpovídá jedné polovině napájecího napětí  $V_{CC}$  v celém teplotním provozním rozsahu. Přítomnost jižní polarit (+B) magnetického pole na čelní straně součástky zvyšuje výstupní napětí  $V_{OUT}$  směrem k  $V_{CC}$  v poměru k intenzitě magnetického pole. Naopak uplatnění severní magnetické polarit (-B) ve stejné orientaci snižuje výstupní napětí z ustálené klidové polohy. Tato úměrnost je specifikována jako magnetická citlivost přístroje a je definována pomocí vztahu:

$$citlivost = \frac{V_{OUT(-B)} - V_{OUT(+B)}}{2B} \quad [3]$$

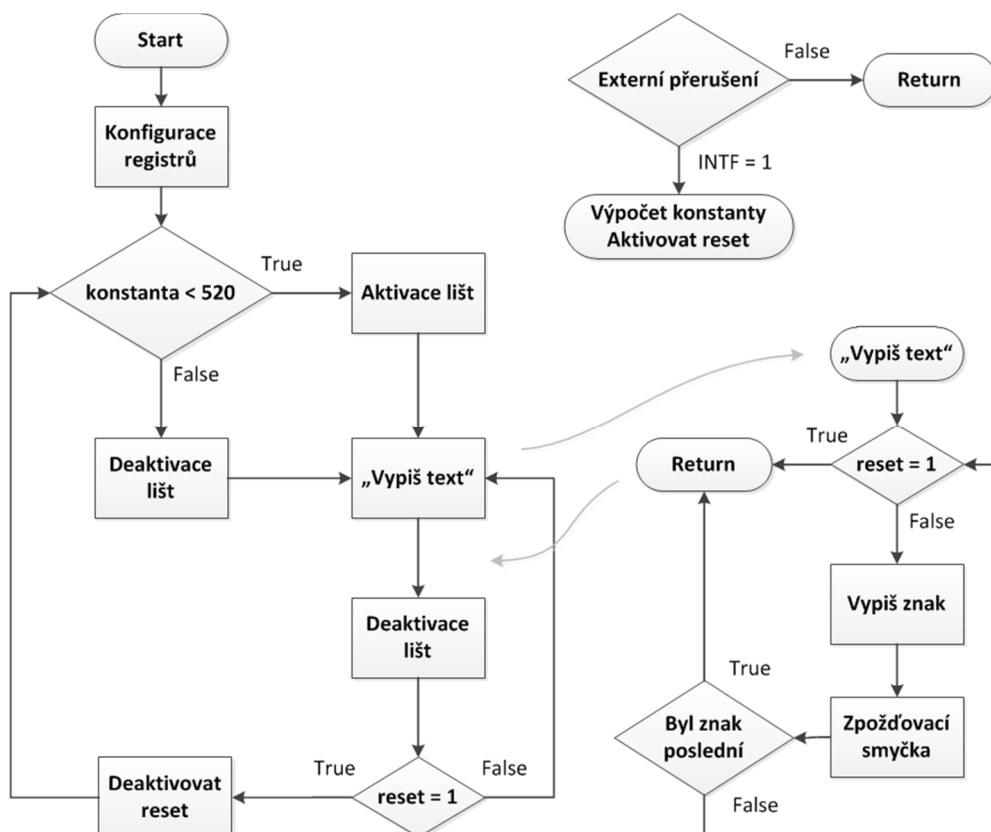
Díky integrovanému operačnímu zesilovači, umocňujícímu Hallův efekt, v praxi součástka typicky dosahuje citlivosti 2,5mV/G. Zdrojem magnetického pole může být neodymový magnet KV-03-03-01-N s magnetizací N50 a speciální antikoroziční niklovou povrchovou úpravou.

Vykreslovací lišty, v této prvotní fázi vývoje, zatím v sobě neskrývají žádnou elektroniku. Jednotlivé diody jsou přes omezovací rezistory připojeny přímo k procesorovým pinům RB1 až RB7 a pinu RA1 portu A. RB0/INT je interně propojen s obvodem vyvolávající programovou rutinu přerušení (INTERRUPR) a proto je speciálně vyčleněn ke snímání otáček. Procesory firmy Microchip jsou obecně svou vnitřní strukturou koncipovány pro široké spektrum klientů. O tom svědčí i robustní proudové budiče výstupních portů. Každý pin může být individuálně zatížen trvalým proudem  $\pm 20\text{mA}$ , což je i vrchní proudová hranice aplikovaných LED diod. Maximální proud na procesorový pin je výrobní



dokumentací specifikován na  $\pm 25\text{mA}$  a v celkovém součtu pak  $200\text{mA}$   
kombinovaně na PORTA a PORTB.

### 3.2.2. Řešení software



Obrázek 3.3 – Blokové schéma softwarového algoritmu (model 1x8 LED)

Blokové schéma softwarového algoritmu popisuje strukturu programového ovládání modelu 1x8 LED. Po náběhu a stabilizaci hladiny napájecího napětí se automaticky spustí program, který v první fázi provede nezbytnou konfiguraci využívaných registrů. Topologii pinů, respektive zda se budou chovat jako vstupy či výstupy ovlivňuje nastavení registrů TRISA a TRISB, které mohou být hned od počátku hromadně definovány jako výstupní. Je nutné si dát pozor a nezapomenout na pin RB0/INT, který neslouží pro přímé buzení konkrétní diody, ale pro snímání otáček pomocí hallova senzoru. Proto musí nabývat TRISB0 hodnoty jedna. Externí přerušení z tohoto pinu je povolováno příkazy



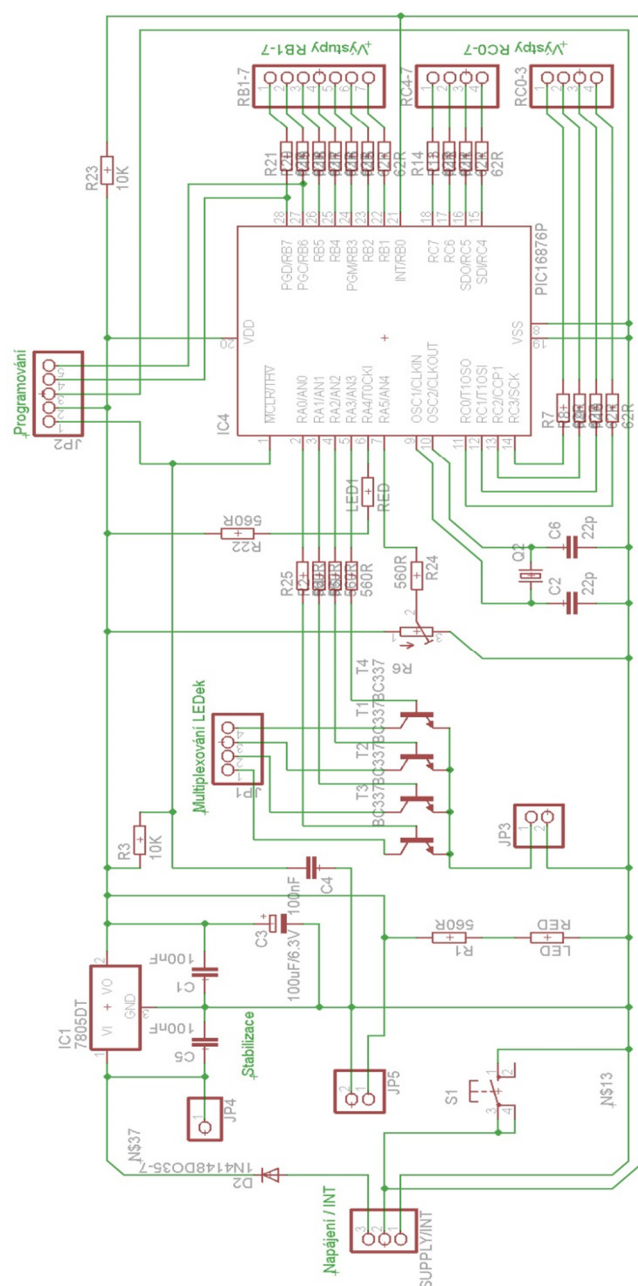
INTE (External Interrupt Enable bit) a GIE (Global Interrupt Enable bit) přidávajícím požadavek do hlavního vektoru přerušení.

Podmínka týkající se hodnoty konstanty v tento moment není splněna, a proto podle vývojového diagramu dochází k „vykreslování textu“ s vypnutými lištami. I přes to, že nedochází k vizuálnímu efektu, musí program nezbytně dodržovat svou předepsanou strukturu. Každý instrukční cyklus, prostupující všemi řádky písmen, zpoždovacími smyčkami a dalšími náležitostmi, trvá nezanedbatelnou dobu. V celkovém součtu by později následovalo nedodržení časových proporcí a tím destabilizaci výpočtů nových konstant. Trvání předchozí otáčky se načítá ve zpoždovací smyčce a zaznamenává do proměnné typu UNSIGNED LONG INT. Algoritmus zpoždovací smyčky, kromě čítání doby otáčky, se větví na další tři podprogramy zajišťující definované trvání svícení sloupku segmentů (písmeno A jich má pro názornost 7), dále algoritmus zajišťuje statickou mezeru mezi symboly ve slově a mezi slovy v celkovém nápisu.

Požadavek externího přerušení, vyvolaného Halloovou sondou v nulové poloze na pinu RB0/INT zpracovává rutina na adrese 0x0004. Zde je vypočítávána nová konstanta, která je podílem dříve načítané hodnoty a čísla 175. Toto číslo bylo voleno experimentálně ve smyslu kompromisu a má na svědomí roztažení či smrštění vykreslovaného nápisu. Dále je zde aktivován Reset a následně vynulován flag signalizující požadavek externího přerušení INTF (External Interrupt Flag bit). Proměnná Reset (datového typu BIT) do velké míry zastupuje právě tento flag přerušení, který je z jiné části programu softwarově neviditelný. Po ukončení podprogramu se program vrací na původní adresu, kde došlo k přerušení, uloženou v návratovém zásobníku (Stack Pointer). Hodnota jedna v proměnné reset zajistí, pomocí příkazu BREAK, opuštění všech vnořených nekonečných smyček, vynulování načítané hodnoty, vynulování sama sebe a návrat k podmínce rozhodující na základě nové konstanty o aktivaci lišt.

### 3.3. Funkční model - 2 x 12 LED

Třetí dokončená verze plošného spoje centrální řídicí jednotky se zaměřuje na pokus oživení více (konkrétně dvou) světelných lišt. V případě jedné bylo nutno dosahovat při jízdě vyšších (zatím blíže nespecifikovaných) rychlostí, aby byl text pozorovatelem správně vnímán jako souvislý. Tato skutečnost byla naopak v rozporu, kdy je potřeba právě pozorovateli zajistit co možná nejdelší dobu optického kontaktu.



Obrázek 3.4 – Schéma centrální řídicí jednotky funkčního modelu 2x12 LED



### 3.3.1. Řešení hardware

Z předchozích testovacích schémat původní PIC16F628A nyní střídá PIC16F876A, který je v mnoha ohledech velmi podobný. Osmibitová architektura taktovaná 20MHz krystalem s výpočetním výkonem 5 MIPS zůstává zachována. Základní výstupní piny portů PORTA a PORTB doplňuje nově i PORTC, který s sebou přináší nové komunikační možnosti. Mezi nejzákladnější patří sériové periferní rozhraní SPI (Serial Peripheral Interface), které se využívá pro komunikaci mezi řídicími mikroprocesory a ostatními integrovanými obvody jako například A/D převodníky, EEPROM paměti, displeje. Komunikace probíhá po společné sběrnici, adresace zvláštními vodiči. Druhou multi-masterovou komunikační sběrnici je pak I<sup>2</sup>C. Těmto sběrnicím jsou vyhrazeny procesorové piny RC3/SCK/SCL – synchronní sériové hodinové pulzy pro SPI i I<sup>2</sup>C, RC4/SDI/SDA – může být využit pro datový příjem (v SPI módu) nebo vstupně výstupním v I<sup>2</sup>C módu. Pin RC5/SDO v sériovém periferním rozhraní funguje jako datový výstup (Data Output).

Schéma hardwaru centrální řídicí jednotky do značné míry vychází z předchozího schématu, a proto se popis kvůli duplicitě informací soustředí především na informace, které ještě nezazněly. Napájení procesoru a ostatních komponent je opět dimenzováno pro 5V. Napájecí lithium polymerové články, podle výše specifikovaných údajů, dodávají v bezpečném rozsahu napětí od 2,9V do 4,2V. Pro akupack s označením 2S je pak tento rozsah mezi 5,8 – 8,4V. Pokud by byl v obvodu dále pro stabilizaci napětí využíván stabilizátor řady L7805 byly by baterie efektivně vybíjeny pouze z poloviny a tudíž by značně klesla jejich využitelnost. Tento jev vysvětluje výrobní specifikace, která integrovanému stabilizátoru uvádí parametr  $V_d = 2V$  (Dropout Voltage). Dropout Voltage, v překladu, označuje nejmenší možný rozdíl mezi vstupním a výstupním napětím. Má-li tedy regulátor na výstupní svorce zajistit stabilních  $V_O = 5,0 \pm 0,1V$ , při úbytku  $V_d = 2V$  je nezbytné, aby zdroj poskytoval vstupní napětí minimálně  $V_{DD} = 7V$ . Úbytkové napětí  $V_d$  se vyvíjí v závislosti na zatížení regulátoru (stabilizátoru) a obecně platí, že v důsledku vnitřního odporu tranzistorů a dalších obvodů stoupá s rostoucí zátěží. Úbytkové napětí je dále také závislé na aktuální teplotě uvnitř pouzdra. Stabilizátor L7805 není pro tyto účely příliš optimální ani

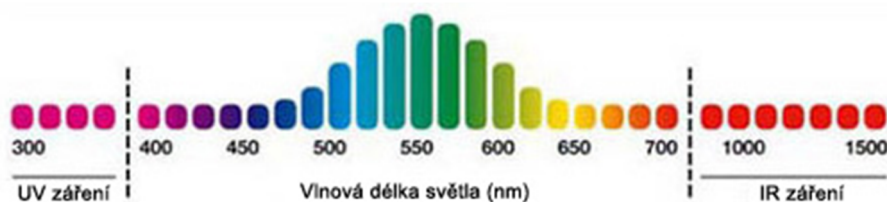


zejména značnému klidovému proudu  $I_q = 4,6$  až  $6\text{mA}$  při pracovní teplotě  $T_J = 25^\circ\text{C}$ . Podle těchto kritérií jsou na tom o mnoho lépe LDO stabilizátory napětí ze série LF00. Výrobce udává, vzhledem k ostatním parametrům, velmi příznivé úbytkové napětí  $V_d = 0,20$  až  $0,35\text{V}$  při proudové zátěži  $I_O$  do  $200\text{mA}$ . Typická hodnota klidového proudu  $I_d$  (Quiescent Current) při nezatížení (v režimu ON MODE) obvykle nepřesahuje  $0,5\text{mA}$ . V režimu OFF MODE pak  $50\mu\text{A}$ . Stabilizátory LF50AB dále vynikají i mnohem kvalitnější stabilizací napětí  $V_O$  kde výstup kolísá v maximálním rozmezí  $\pm 0,05\text{V}$  s provozní teplotou  $-40^\circ\text{C}$  až  $125^\circ\text{C}$ . Provedení obou součástek je dostupné v klasických pouzdrech TO-220 (TO-220FP) a v SMD pak DPAK. Úsporného režimu OFF MODE lze u LF50 dosáhnout pouze v pouzdrech PENTAWATT a PPAK.

Tab. 3.1 – Srovnání klíčových parametrů stabilizátorů L7805A a LF50AB

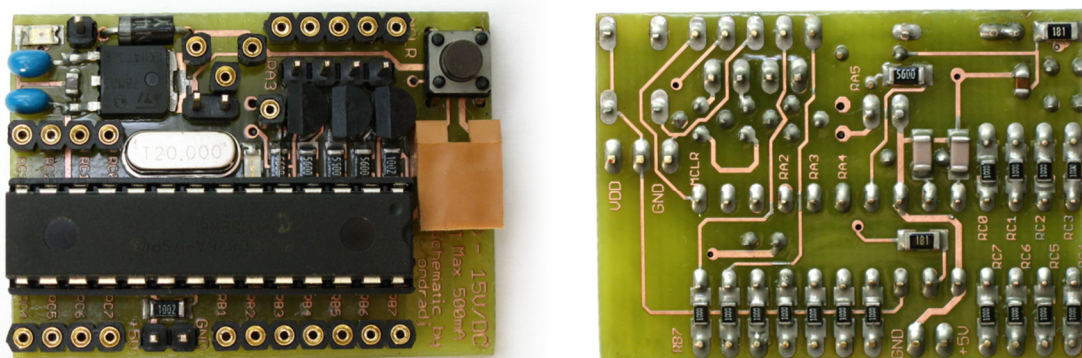
Symbol	Parametr	<b>L7805A</b>	<b>LF50AB</b>	
$\Delta V_O$	Differ. Output Voltage	7 – 75	5 – 25	mV
$V_I$	Operating Input Voltage	25	16	V
$V_d$	Dropout Voltage	2	0,2 – 0,4	V
$I_O$	Output Current Limit	1,5	0,5	A
$I_d$	Quiescent Current	4,3 – 6,0	0,5 – 1,0	mA

Hallovu sondu, snímající počáteční polohu natočení kola, v tomto konceptu vykreslovací jednotky střídá optická závora sestavená z fototranzistoru a IR diody. Tato kombinace se jeví pro následující účely mnohem efektivněji, neboť intenzita magnetického pole slábne s druhou mocninou vzdálenosti. Barevné spektrum elektromagnetického záření je pro lidské oko pozorovatelné o vlnových délkách mezi 380 až 750nm. Aby snímací optická závora nepůsobila rušivým dojmem a zároveň co nejméně reagovala na světlo umělých zdrojů, je posunuta do infračerveného spektra.



Obrázek 3.5 – Vlnová délka světla, umístění IR spektra

Snímač i vysílač záření pro maximální efektivitu světelného přenosu musí pracovat na stejné frekvenci. Mezi frekvencí a vlnovou délkou platí vztah  $c = f * \lambda$ , kde  $c$  je rychlost světla ve vakuu,  $f$  frekvence a  $\lambda$  vlnová délka záření. Nejběžněji využívané součástky, určené speciálně pro využití v optických závorech, pracují na vlnové délce  $\lambda = 940\text{nm}$ . Zdrojem emitujícím fotony těchto parametrů může být IR dioda typu VTE3322LAH s efektivním vyzařovacím úhlem  $10^\circ$  a výkonem 1,5mW. Přijímačem umístěným na rotující komutátorové části kola je fototranzistor značky LTR-4206 v čirém diodovém pouzdře. Jeho zorný úhel čočky  $40^\circ$  je ale nutné kvůli okolnímu rušení omezit na méně než  $5^\circ$  a to zasunutím do černé bužírky. Tím je automaticky zamezena i boční, nežádoucí detekce světla. Z pouzdra fototranzistoru vedou pouze dva vývody – kolektor a emitor. Polovodičová báze je vystavena dopadajícím fotonům, které úměrně s osvětlením uvolňují nosiče elektrického náboje a tím dochází k zesilovacímu efektu podobnému bipolárním tranzistorům.

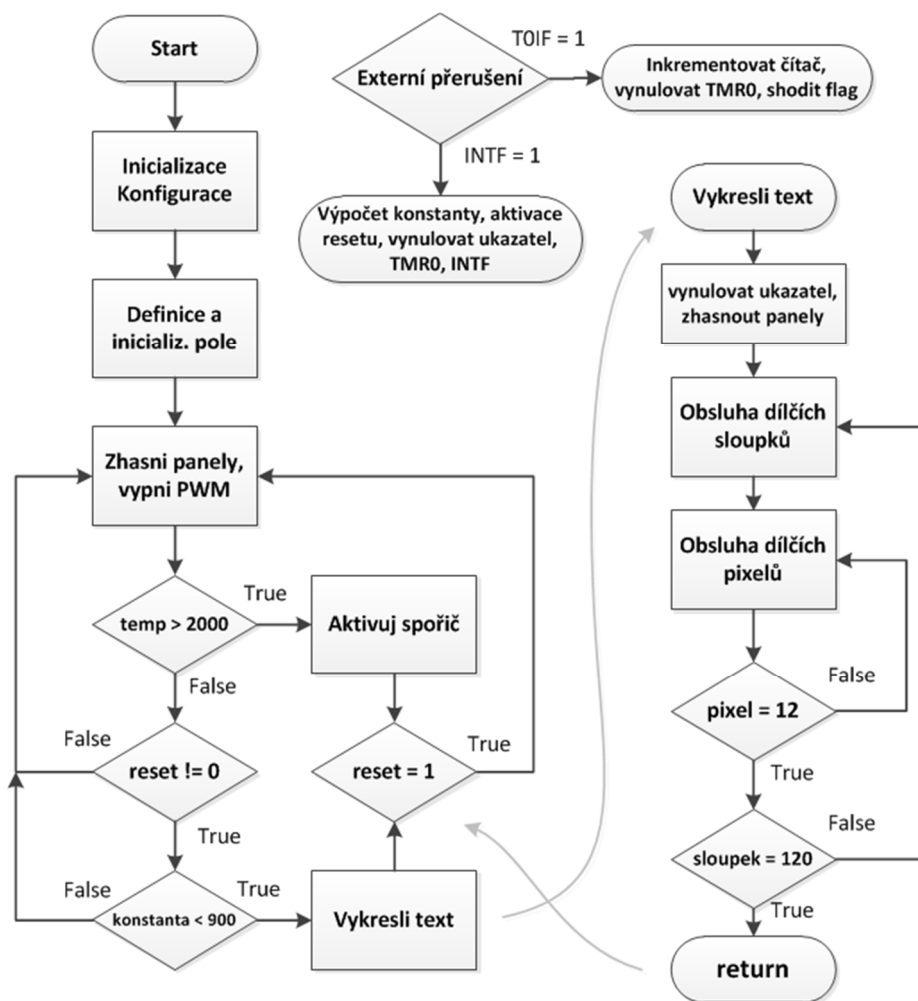


Obrázek 3.6 – Centrální řídicí jednotka funkčního modelu 2x12 LED



Vykreslovacím lištám jsou vyčleněny všechny zbylé procesorové piny portů PORTB a PORTC. I v této variantě dochází k buzení ledek přímo procesorovými registry, které jsou pro následující účely dostatečně proudově dimenzovány. Ochranné odpory z vykreslovacích bloků se kvůli redukci nákladů a technickému zjednodušení integrovaly přímo na základní desku. Obě lišty obsluhuje společná uměle vytvořená dvanácti vodičová sběrnice. Aktivace jednotlivých bloků pak probíhá po speciálním nulovém vodiči, připojeném na kolektorové vývody tranzistorů BC337. Tranzistory jsou připojeny přes ochranné rezistory, omezující proud do báze na 7mA, k portu A.

### 3.3.2. Řešení software



Obrázek 3.7 – Blokové schéma softwarového algoritmu (model 2x12 LED)



První krok inicializace nastavuje dle požadavků schématu impedance všech pinů. Děje se tak pomocí osmibitových registrů TRISA, TRISB a TRISC. Vnitřní procesorová struktura je dále inicializována automaticky kompilátorem a v případě speciálních požadavků manuálně. Nastavení časovače Timer0 (TMR0) probíhá z pohledu programovacího jazyka Assembler (ASM) v Bance 1 na hexadecimální adrese 81h. Z pohledu kompilátorů jazyka C ale stačí pouze vědět, že se jedná o osmibitový registr OPTION\_REG, který obsahuje různé řídicí bity a především nastavení TMR0 a WDT. Bity PS2:PS0 (Prescaler Rate Select bits) nastavují dělicí poměr předřazené děličky, která je dále aktivována vynulováním bitu PSA (Prescaler Assignment bit). Zdroj hodinových impulsů nastavuje bit T0CS (TMR0 Clock Source Select bit), který volbou nula propojí časovač s interním instrukčním hodinovým cyklem (CLKOUT), čili TMR0 inkrementuje podle oscilátoru. Povolování přerušení různých periférií probíhá v registru INTCON, který mimo jiné obsahuje již dříve známé bity INTE (RB0/INT External Interrupt Enable bit) a GIE (Global Interrupt Enable bit). Popisovaný software rozšiřuje využití registru o požadavek přerušení při přetečení či podtečení zásobníků časovače Timer0 aktivačním bitem T0IE (TMR0 Overflow Interrupt Enable bit).

Definice pole si klade za úkol pokročilou práci s ukazateli, kdy je potřeba pomocí nich nadefinovat a defaultními hodnotami naplnit pole pointerů. Jedná se o pole, později reprezentující LED display, se 20 znaky a každý znak o libovolném počtu dvanácti pixelových sloupků. Tento princip bude více přiblížen a detailněji vysvětlen u budoucího výrobku 4x16 LED.

Než se program řádně uvede celý do chodu a spočítají nezbytné vykreslovací konstanty, dojde k dočasné deaktivaci vykreslovacích bloků. To lze provést přepnutím příslušných pinů (RC0, RC1, RC6, RC7, RB1 – RB7) pomocí TRISů na vysoko-impedanční vstupy či optimálněji softwarovým přivedením logické nuly. Je-li zde využívána PWM modulace, korigující svítivost, pak dojde k její vypnutí. Série následujících podmínek větví program na vykreslovací část a takzvaný spořič, který se aktivuje při zastavení jízdy na pevně definovaný čas. K vykreslování textů či symbolů dochází až od určité rychlosti, kdy je dosažena požadovaná obvodová rychlost kola nutná pro vytvoření specifického optického klamu. Tato rychlost lze





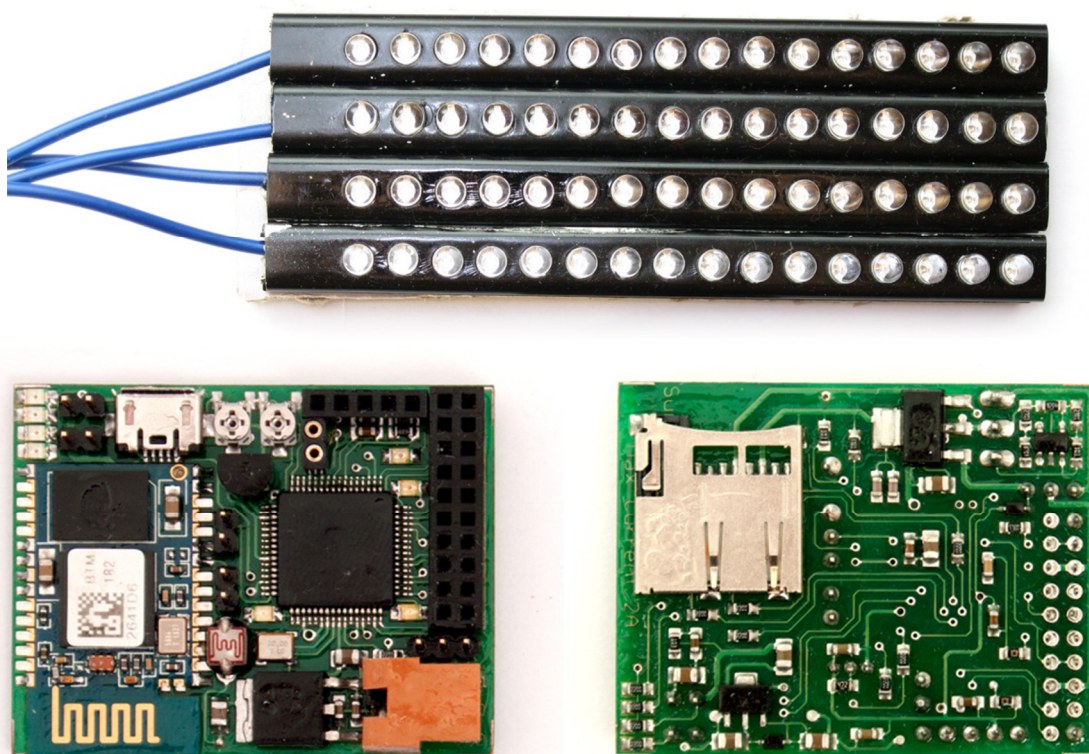
dynamicky ovlivňovat na základě venkovního osvětlení. Je-li venku šero, tedy osvětlení 1 lux, jistě bude pro dosažení podobných optických iluzí potřeba vyšší rychlost, než v případě, kdy okolní osvětlení limituje téměř k nule luxů. Hladina intenzity venkovního osvětlení může být snímána procesorovým AD převodníkem z pinu RA5/AN4. Podle vývojového blokového diagramu, část značená jako vykreslovací, pracuje s daty v pointerovém poli pointrů a řeší obsluhu světelných bloků. Při prvním vstupu do podprogramu se vynuluje rotující vektor, určující aktuální pozici prvního vykreslovacího bloku a než dostanou lišty 12 bitové binární informace, jsou zhasnuty. Hlavní cyklus proběhne 120 krát což odpovídá počtu sloupků celého pásu displeje. V něm je vnořena další smyčka obsluhující dílčí pixely. Tato rutina, na základě hodnoty rotujícího vektoru, sestaví dvě proměnné (ke každé liště jedna) s odstupem  $\pi$ , čili  $120/2\pi * \pi = 60$  sloupků, což identicky odpovídá i jedné polovině rozsahu. Proměnné jsou definovány, kvůli svému rozsahu, typem UNSIGNED LONG INT a slouží, v binárním podání, jako aktuální informace pro vykreslování. Převedení číselné hodnoty na příslušné výstupní piny probíhá rotací proměnné a binárním maskováním. Diody jsou připojeny na vybrané piny portů PORTB a PORTC (viz počátek odstavce) a jejich katody jsou svedeny silnějšími vodiči přes tranzistory TR1 a TR2 do země. Tranzistory, připojeny na procesorové piny RA0 a RA1, slouží k multiplexování světelných bloků. Blok je aktivní při logické jedničce na bázi TRx a nemělo by docházet k současné aktivaci obou bloků. Tímto systémem přepínání lze dosáhnout, při vyšších frekvencích, dojmu současného svícení s poloviční redukcí potřebných pinů.

Podprogram přerušení se klasifikuje podle aktivního povoleného flagu zdroje přerušení. Pro tento program je tedy sledován pouze příznak T0IF nebo INTF. Externí přerušení vyvolané optickou závorou na pinu RB0/INT se zaznamenává flagem INTF. Podmínka reagující na tento flag ukončuje čítání proměnné a na základě získaných hodnot vypočítává novou, aktuální hodnotu konstanty. Dále nuluje pozici ukazatele na původní, startovní polohu, resetuje hodnotu časovače TMR0 a flag přerušení INTF. Pro urychlené ukončení všech vnořených podprogramů a přesun softwaru do definované počáteční polohy se aktivuje proměnná fungující částečně jako reset.



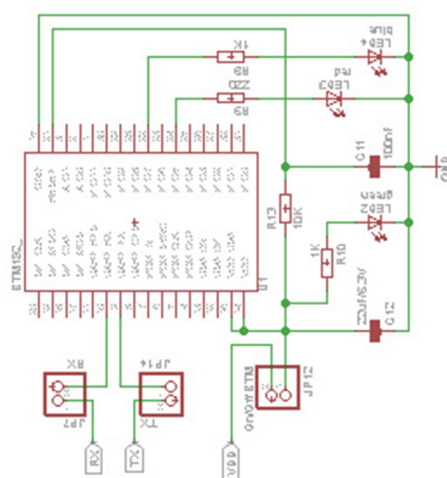
### 3.4. Funkční model - 4 x 16 LED - buzení pomocí registrů

Funkční model 4x16 LED shrnuje všechny dosažené znalosti, technologické úspěchy, konstrukční postupy a programátorské struktury do jediného výrobku. Jedná se již o pátý, nejmodernější systém řídicí jednotky a čtvrtou verzi vykreslovacích lišt. Veškeré využití součástky jsou vybírány s ohledem na co nejvyšší možnou integraci komponent a tudíž v SMD pouzdrech. Počet pixelů vykreslovaných sloupků celkového displeje stoupl na plnohodnotných 16 obrazových bodů. Nová elektronika dále umožňuje, oproti původní, dosahovat čtyřikrát vyšší intenzity světelných bloků, jednodušší ovládání, možnost plynulého nastavování jasu a podstatně lepší celkové čitelnosti při nižších rychlostech jízdy. Od základu kompletně přepracovaná centrální řídicí jednotka přináší spousty praktických periférií (od senzorů osvětlení, teploty, přes externí výměnné úložiště pro zaznamenávání dat z průběhu jízdy, až po bezdrátové komunikační možnosti) a tím je nyní nově zaměřena především i na širší uživatelskou klientelu.

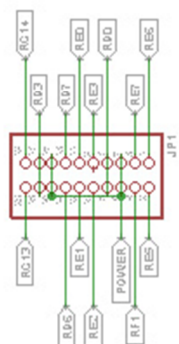


Obrázek 3.8 – Vykreslovací lišty a DPS centrální řídicí jednotky funkčního modelu 4x16 LED

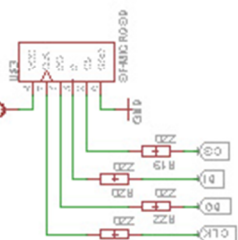
### Komunikační bluetooth modul



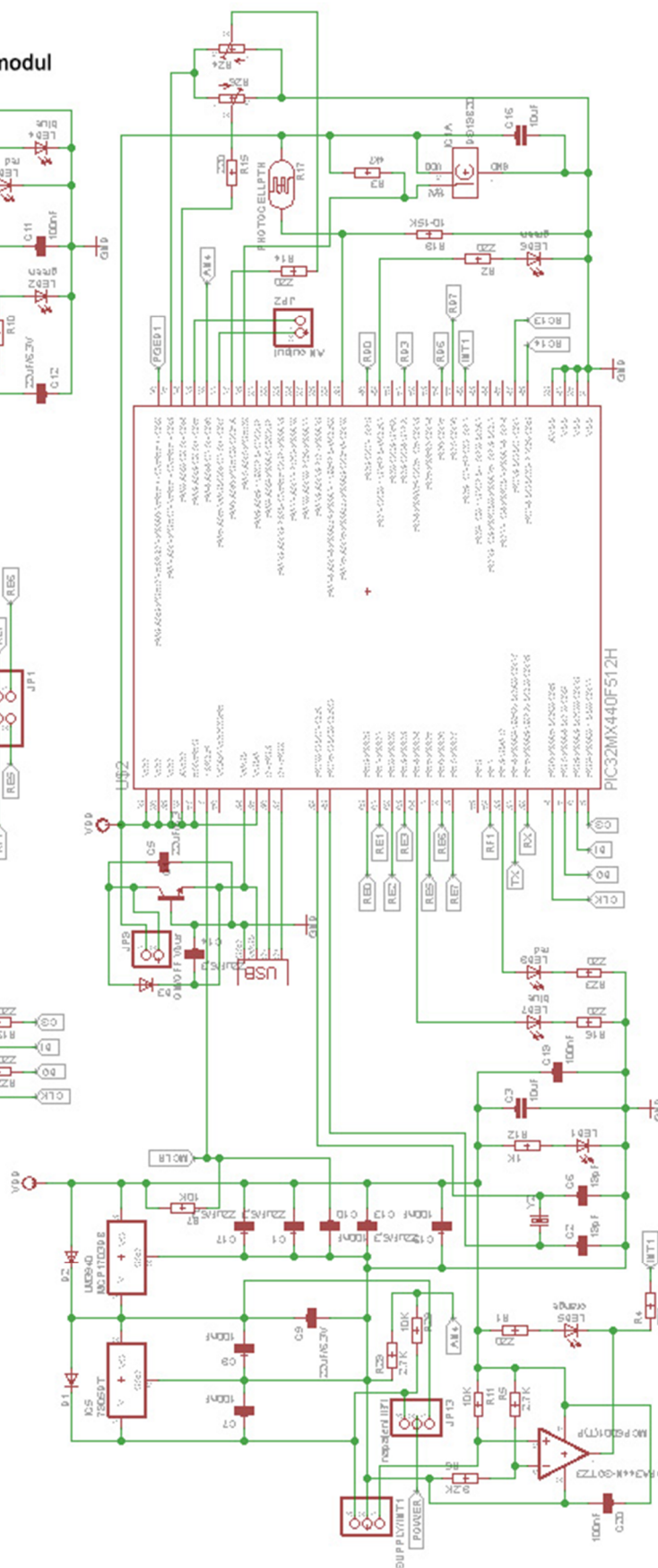
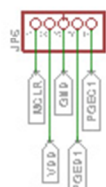
### Hlavní výstupní konektor



### MMC/SD card



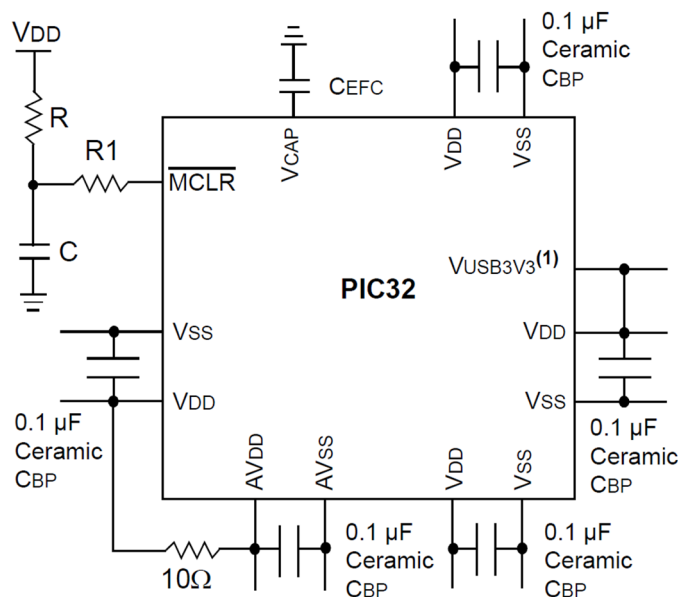
### Programovací konektor pro PICKIT3



Obrázek 3.9 – Schéma centrální řídicí jednotky funkčního modelu 4x16 LED

### 3.4.1. Řešení hardware

Nově přepracované schéma centrální řídicí jednotky je založeno na pokročilejším procesorovém jádru M4K Core procesoru PIC32MX440F512H, které lze externím krystalem taktovat až na frekvenci 80MHz. Tím u 32bitové architektury vzrůstá výpočetní výkon z původních 5MIPS na současných 105DMIPS (Dhrystone MIPS). Obdobně je tomu i u paměti, kdy původních 14KB programové paměti se nyní rozšiřuje na 512KB a paměť RAM zaznamenává stonásobný přírůstek původní hodnoty. Výpočetní výkon je podpořen možností pětistupňového řetězeného zpracování (5 Stage pipeline). Seznam dostupných periférií se kromě standardních komunikačních sběrnic SPI, I<sup>2</sup>C rozšiřuje o IrDA a do budoucna hojně využívané sběrnice UART, USB OTG a přímý přístup do paměti (DMA channel). Integrované SMD pouzdro TQFP64 s 51 vstupně výstupními svorkami (51 I/O Pins) zahrnuje porty PORTB až PORTG. [9]



Obrázek 3.10 – Schéma minimálního zapojení PIC32MX440F512H

Obrázek 3.10 znázorňuje minimální nezbytné zapojení mikroprocesoru, bez kterého by docházelo k nesprávné funkcionalitě vybraných částí, či dokonce celé součástky. Použití vyznačených kondenzátorů se doporučuje pro zlepšení stability napájecího napětí. Jejich typické hodnoty se pohybují od 4,7µF do 47µF a měly by být umístěny bezprostředně co nejbližšie procesorovým vývodům. Tantalový





či keramický kondenzátor  $C_{EFC}$  připojen na pin  $V_{CAP}/V_{CORE}$  slouží pro stabilizaci vnitřního výstupu napěťového regulátoru a musí mít vnitřní odpor menší než 1 Ohm (Low-ESR  $<1\Omega$ ). Pin  $\overline{MCLR}$  poskytuje dvě specifické funkce a to globální reset zařízení a možnost programování / ladění. Pro splnění napěťových specifikací  $V_{IH}$  a  $V_{IL}$  (viz. datasheet) slouží zvedací odpor  $R \leq 10K\Omega$  a  $R1 \leq 470\Omega$  omezující jakýkoli proud tekoucí do  $\overline{MCLR}$  z vnějšího kondenzátoru C ať už vlivem poruchy pinu, elektrostatickým výbojem (ESD) nebo elektrickým přepětím (EOS). Kondenzátor musí být dimenzován tak, aby nedocházelo k neúmyslným resetům vlivem drobných podpětí v obvodu vyvolaných ostatní digitální technologií.

Vnitřní technologie součástky pracuje s napájecím napětím v rozsahu 2,3V až 3,6V, což je záměrně voleno i především díky komunikačnímu bluetooth modulu (BTM-182) a multimediální paměťové kartě (MMC typu SD). Napětí z dvoučlánkového napájecího akupacku 2S je stabilizováno na potřebnou hodnotu dvoustupňově. Nejprve je omezeno na 5V pomocí integrovaného stabilizátoru LF50AB a poté dále nízko-úbytkovým LM3940IMP na konečných 3,3V. Toto kaskádní zapojení vzniká rovnou z několika důvodů. Centrální řídicí jednotka, prostřednictvím mechanického přepínače JP1, je schopna napájet externí obvody připojeny na hlavní svorkovnici 2x10, podle volby uživatele, buďto ostrým napájecím napětím anebo stabilizovanými pěti volty. 3,3V stabilizátor na DPS slouží pouze pro napájení vlastních obvodů, čili není vyveden na vnější svorky. Jako další důvody mohou být zmíněny lepší tepelná dynamika (větší chladicí plocha), rozsah celkového napájecího napětí a vyšší bezpečnost obvodů při přetížení výstupní svorky při přepnutí JP1 do polohy 5V. V případě, kdy jsou stabilizátory vystaveny opačným napětím, respektive na výstupu mají vyšší kladný potenciál než na vstupu, jsou chráněny Schottkyho diodami. Tato situace nastává zejména bočním napájením z USB portu a případně programovacím konektorem. Pravidla blokačních a anti-rezonančních kondenzátorů, popsanych dříve platí i zde.

Optická závora ve složení fototranzistoru a infračervené diody pro snímání nulové polohy natočení kola zůstává původní. Přechodem z 5V technologie na 3,3V se ale nově otevírá problematika její citlivosti v závislosti na rozhodovacích úrovních procesorové logiky. Logická nula na vstupním pinu



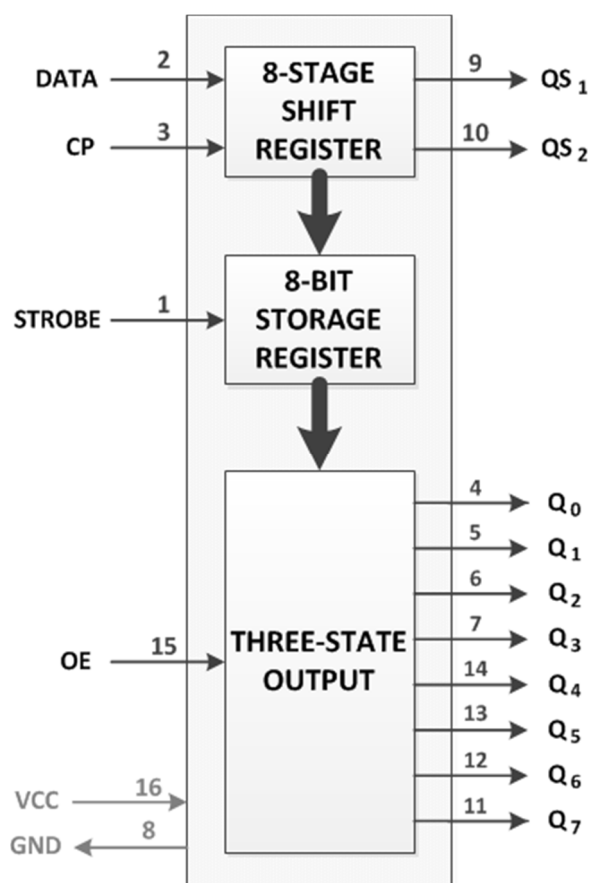
RD8/IC1/RTCC/INT1 je vnímána v rozmezí  $V_{SS}$  až  $0,2 * V_{DD}$  ( $0 - 0,66V$ ) a logická jedna  $0,8 * V_{DD}$  až  $V_{DD}$  ( $2,64 - 3,3V$ ). Minimální tranzistorové napětí, vyvolané křemíkovými PN přechody odpovídá  $0,4V$ , které je navíc podmíněno intenzivním kolmým osvětlením o definované vlnové délce. Z těchto čísel vyplývá velmi tenká hranice pro správné zaznamenání optického kontaktu. Vlivem poklesu napájecího napětí, provozním znečištěním během delšího časového horizontu či nepatrným vzájemným vychýlením světelného zdroje a senzoru se hranice dále jen značně zužuje. Řešením tohoto specifického problému může být vytvoření umělé rozhodovací hranice pomocí operačního zesilovače MCP6001RT zapojeného v režimu neinvertujícího komparátoru. Zavádění hystereze zde není nutné, neboť zákmity jsou ošetřeny podstatou procesorového přerušení a případně je lze dále korigovat softwarově. Rozhodovací úroveň je nastavena ve smyslu kompromisu odporovým děličem 8K2 a 2K7, který při napájecím napětí  $3,3V$  vytvoří fixní hranici dle výpočtu  $2,48V$  (v praxi pak vlivem odporových tolerancí o  $0,02V$  nižší).

$$\frac{V_{DD}}{R_1 + R_2} * R_1 = \frac{3,3}{8,2 + 2,7} * 8,2 = 2,48V \quad [4]$$

Tato rozhodovací napěťová hladina byla záměrně volena ve  $\frac{3}{4} V_{DD}$  aby se dostatečně omezila míra zmíněných poruchových vlivů a zároveň nedocházelo ke kolizi s opačnou krajní hranicí. Kdyby se rozhodovací úroveň naopak pohybovala příliš blízko napájecího napětí  $V_{DD}$ , stačily by vyhodnocovací elektronice od fototranzistoru velmi slabé podněty a tím by docházelo k světelnému rušení okolními vlivy. Vlastnost operačního zesilovače Rail-to-Rail Input/Output, tedy možnost dosahovat výstupního napětí téměř shodného s napájecím, umožňuje využití maximálního napájecího rozsahu a tím se vyvarovat nežádoucímu zásahu do zakázaného pásma procesorové logiky. MCP6001RT pracuje podle výrobních specifikací v napěťovém rozsahu od  $1,8V$  do  $6,0V$ , zde je ale kvůli úrovně kompatibility připojen na pracovních  $3,3V$ . Svou udávanou typickou vnitřní spotřebou  $I_Q = 100\mu A$  nepředstavuje pro obvod, z hlediska spotřeby, žádnou významnou zátěž. Výstup operačního zesilovače  $V_{OUT}$  je připojen na signalizační oranžovou LED kontrolku a přes ochranný odpor  $220\Omega$  na pin RD8/INT1.

34

Předchozí vykreslovací lišty, až do příchodu funkčního modelu 4x16 LED, byly bezprostředně vždy napájeny procesorovými budiči. Obě varianty mají své specifické výhody i zápory. Jednoduchost vykreslovacích bloků byla především na úkor počtu signálových vodičů sbíhajících se v konstrukčním pouzdru centrální řídicí jednotky ale také i celkové intenzity displeje. U jednodušších modelů 1x8 LED či 2x12 LED se v celkovém součtu jednalo o správné seřazení a připojení 8 nebo 24 datových vodičů, což se s obtížemi dalo řešit mikro konektory v rámci jediného pouzdra. U modelu 4x16 LED by bylo tímto systémem nutno, již zcela neprakticky, zvládnout zorganizovat 64 vodičů o průměru 0,18mm. Celková redukce musí ideálně nastat v místě rozvětvení obvodů, a proto situaci diskrétněji řeší implementace elektroniky přímo do lišt vykreslovacích bloků.



Obrázek 3.12 – Blokové schéma posuvného registru CD74HCT4094





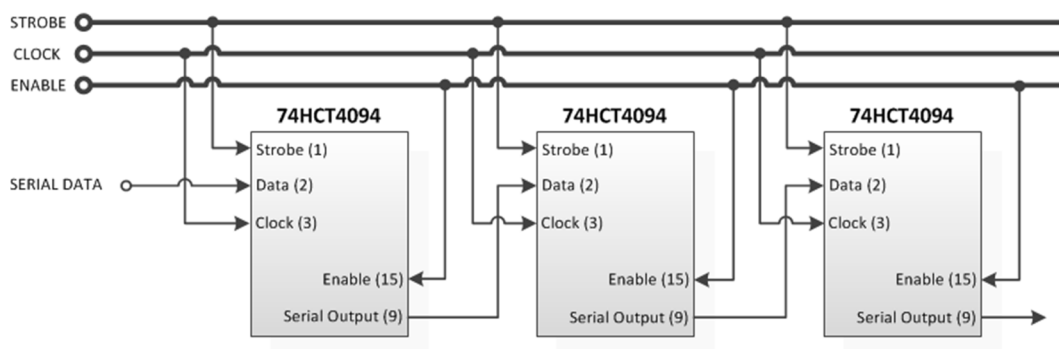
Diody lze, vzhledem k požadavkům obvodu, budit více různými způsoby. Aby docházelo k maximální úspoře datových vodičů a zároveň softwarové optimalizaci, nabízejí se zde logické obvody s paměťovým efektem. Mezi ně se řadí registry ovládané sběrnici SPI, posuvné registry či buzení přímo pomocí specifických pamětí. Z tohoto stručného výčtu vycházejí nejlépe posuvné registry, zastoupené konkrétním výrobním typem 74HCT4094. Jedná se o osmi bitové sériové posuvné registry (8-Stage Shift Register), v každé fázi vybavené odpovídajícími úložnými pamětmi. První blok s náběžným hodinovým impulzem (CP) snímá logickou hodnotu na pinu Data a ukládá ji do osmistupňové fronty typu FIFO (First In First Out). Bitové hodnoty mimo rozsah (při přetečení fronty) jsou postupně vystavovány na sériových výstupech  $QS_1$  a  $QS_2$ . Úložný registr (8-Bit Storage Register) slouží pro převod dat ze sériového vstupu do paralelní vyrovnávací paměti. K přesunu informací mezi všemi vyrovnávacími bloky dochází při přijetí pozitivní náběžné hrany pinem Strobe. Výstupní paralelní kombinace pinů  $Q_0$  až  $Q_7$  se aktivuje signálem OE (Output Enable) ve třístupňovém registru (Three-State Output). Piny mohou nabývat logické jedničky, nuly anebo při  $OE = 0$  stavu vysoké impedance.

Tab. 3.2 – Pravdivostní tabulka posuvného registru CD74HCT4094

INPUTS				PARALLEL OUTPUTS		SERIAL OUTPUTS	
CP	OE	STR	D	$Q_0$	$Q_N$	$QS_1$	$QS_2$
↑	L	X	X	Z	Z	Q'6	NC
↓	L	X	X	Z	Z	NC	$Q_7$
↑	H	L	X	NC	NC	Q'6	NC
↑	H	H	L	L	$Q_N - 1$	Q'6	NC
↑	H	H	H	H	$Q_N - 1$	Q'6	NC
↓	H	H	H	NC	NC	NC	$Q_7$

H = log. 1 (High Voltage Level), L = log. 0 (Low Voltage Level), X = na pinu nezáleží, NC = beze změny, Z = vysoká impedance (High Impedance Off-State),  
↑ = Transition from Low to High Level, ↓ = Transition from High to Low.

Oba sériové výstupy jsou k dispozici pro vzájemné kaskádní propojování registrů. Při kladných náběžných hodinových pulzech jsou data vystavována na pinu QS<sub>1</sub>, který je využíván zejména při vysokých komunikačních rychlostech. Naopak pro provoz kaskádového systému s pomalým nárůstem hodinového signálu slouží druhý pin QS<sub>2</sub>. Poskytované výstupní sériové informace jsou v obou případech zcela totožné, ale na výstup QS<sub>2</sub> se dostávají až s další negativní hodinovou hranou. Šestnácti pixelové vykreslovací bloky si žádají tímto systémem propojení dvou osmi bitových sériových posuvných registrů. Komunikační piny Strobe, Clock a povolovací Enable lze od obou součástek navzájem propojit a spolu s unikátním datovým pinem tvoří celkem čtyř vodičovou komunikační sběrnici (+ kladné napájení). V případě nižšího výpočetního výkonu centrální řídicí jednotky, kde by nemuselo docházet k dostatečnému ovládání světelných bloků v reálném čase, je možné pin Serial Data rozčlenit na Data1 a Data2.

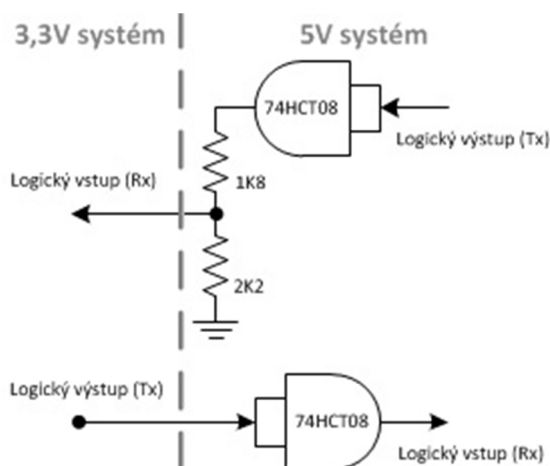


Obrázek 3.13 – Kaskádní propojování posuvných registrů

Využité komunikační piny (Data, Strobe, Clock, Enable) jsou podle schématu v každém světelném vykreslovacím bloku přiuzemněny odrušovacími odpory 100K $\Omega$ . V rámci sdílených vodičů společné sběrnice pak odpovídá odporová zátěž na pin  $\frac{1}{4} R$ , tedy hodnotě 25K $\Omega$  (tato zátěž neplatí pro unikátní datové piny). Odporové odrušovací metody jsou preventivním opatřením proti přeslechům mezi delšími souběžnými vodiči s minimální vzájemnou izolací. Každý vykreslovací blok zahrnuje svou vlastní stabilizační jednotku složenou z integrovaného nízko úbytkového LDO stabilizátoru LF50CDT a anti-rezonančních kondenzátorů. Proudové špičky digitálního charakteru jsou zachytávány blokovacími nízko

impedančními kondenzátory  $10\mu\text{F}/6,3\text{V}$  umístěnými bezprostředně k napájecím svorkám posuvných registrů. Výstupní porty, v zastoupení pinů  $Q_0$  až  $Q_7$ , jsou ochrannými rezistory  $R_1$ - $R_{16}$  popořadě připojeny na anody všech LED diod.

Registry 4094 řady HCT jsou vybaveny speciálními diodovými budiči (DC Output Diode Current,  $I_{OK}$  For  $V_O < -0.5\text{V}$  or  $V_O > V_{CC} + 0.5\text{V}$ ), které jsou schopny zajistit specifický výstupní proud  $I_{IK} = \pm 20\text{mA}$ . Špičkově pak  $I_{IK} = \pm 25\text{mA}$ . V případě volby registrů z řady HC se výstupní proud  $I_{IK}$  pohybuje pouze v hodnotách do  $10\text{mA}$ . Obvody HCT jsou kompatibilní s napěťovými úrovněmi TTL a lze je přímo kombinovat s bipolárními obvody TTL. Této skutečnosti odpovídá i napájecí napětí, kdy typy 74HCT vyžadují napájecí rozsah v rozmezí  $4,5\text{V}$  až  $5,5\text{V}$ , zatímco typy 74HC pracují již od  $2\text{V}$  do  $6\text{V}$ . S rostoucím napájecím napětím do poloviny svého rozsahu u logických obvodů výrazně stoupá pracovní frekvence. Od poloviny výše pak naopak začíná dominovat jejich spotřeba. Pracovní frekvence je převrácenou hodnotou periody časového průběhu, který pro  $5\text{V}$  napájení obvodů CD74HCT4094 odpovídá  $< 500\text{ns}$ . [8]



Obrázek 3.14 – Napěťový převod úrovní logických systémů

Napěťová kompatibilita mezi  $3,3\text{V}$  a  $5\text{V}$  logickým systémem lze řešit několika rozdílnými způsoby. Převod z vyššího signálového napětí na nižší se může redukovat odpovídajícím odporovým děličem (viz Obr. 3.14) nebo sofistikovaněji

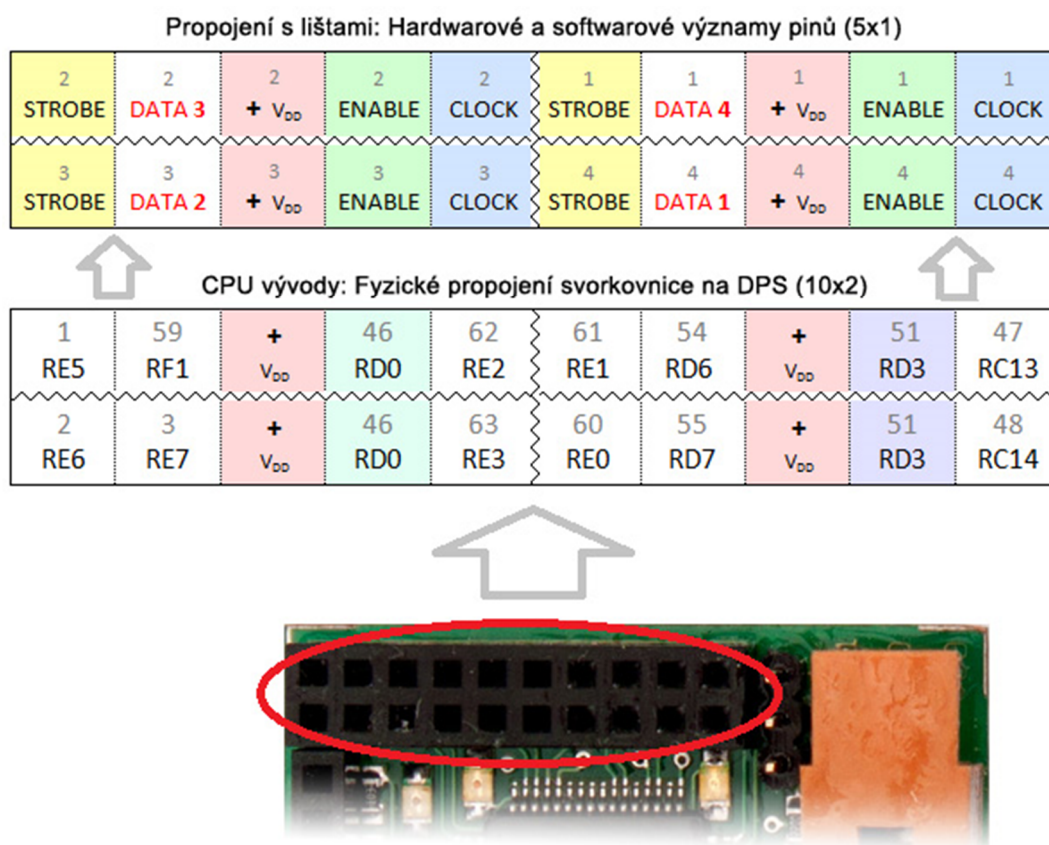
speciálními nízkonapěťovými CMOS obvody řady 74LV (Low Voltage HCMOS). Tyto logické prvky s podrobnějším výrobním označením LVC, LVX a LCX jsou schopny na vstupu tolerovat napětí 5V, a proto je lze použít v zapojeních, které využívají smíšenou logiku. Opačná tendence převodu nižších úrovní na vyšší si již vyžaduje speciální úroňové převodníky anebo elektroniku akceptující vznikající rozdíl. Tyto kritéria značným podílem přispěly k volbě posuvných registrů řady 74HC (respektive 74HCT), tvořící kompatibilní přechod mezi CMOS a TTL technologiemi. Podle výrobních specifikací procesoru PIC32MX440F512H dosahuje (při charakteristických podmínkách obvodu) výstupní napětí pinů hodnot  $V_{OL} \leq 0,4V$  (Output Low Voltage) a  $V_{OH} \geq 2,4V$  (Output High Voltage). Posuvný registr CD74HCT4094 naopak vyžaduje pro interpretaci vstupní logické nuly napětí  $V_{IL} \leq 0,8V$  (Low Level Input Voltage) a pro zaznamenání logické jedničky  $V_{IH} \geq 2V$ . Vstupní CMOS technologie registrů zajišťuje vysokou impedanci svorek a tedy proudy  $I_L < 1\mu A$  (Input Leakage Current). Pracovní klidový proud součástky (Quiescent Device Current) se pohybuje okolo  $8\mu A$  a celkový špičkový pak okolo  $400\mu A$ .

Tab. 3.3 – CPU vývody: Možnosti a funkcionality fyzického rozhraní

Číslo pinu	Celý název pinu	Číslo pinu	Celý název pinu
1	RE5 / PMD5	54	RD6 / CN15
2	RE6 / PMD6	55	RD7 / CN16
3	RE7 / PMD7	59	RF1
46	RD0 / OC1 / INT0	60	RE0 / PMD0
47	RC13 / SOSCI / CN1	61	RE1 / PMD1
48	RC14 / SOSCO / T1CK / CN0	62	RE2 / PMD2
51	RD3 / U1TX / OC4	63	RE3 / PMD3

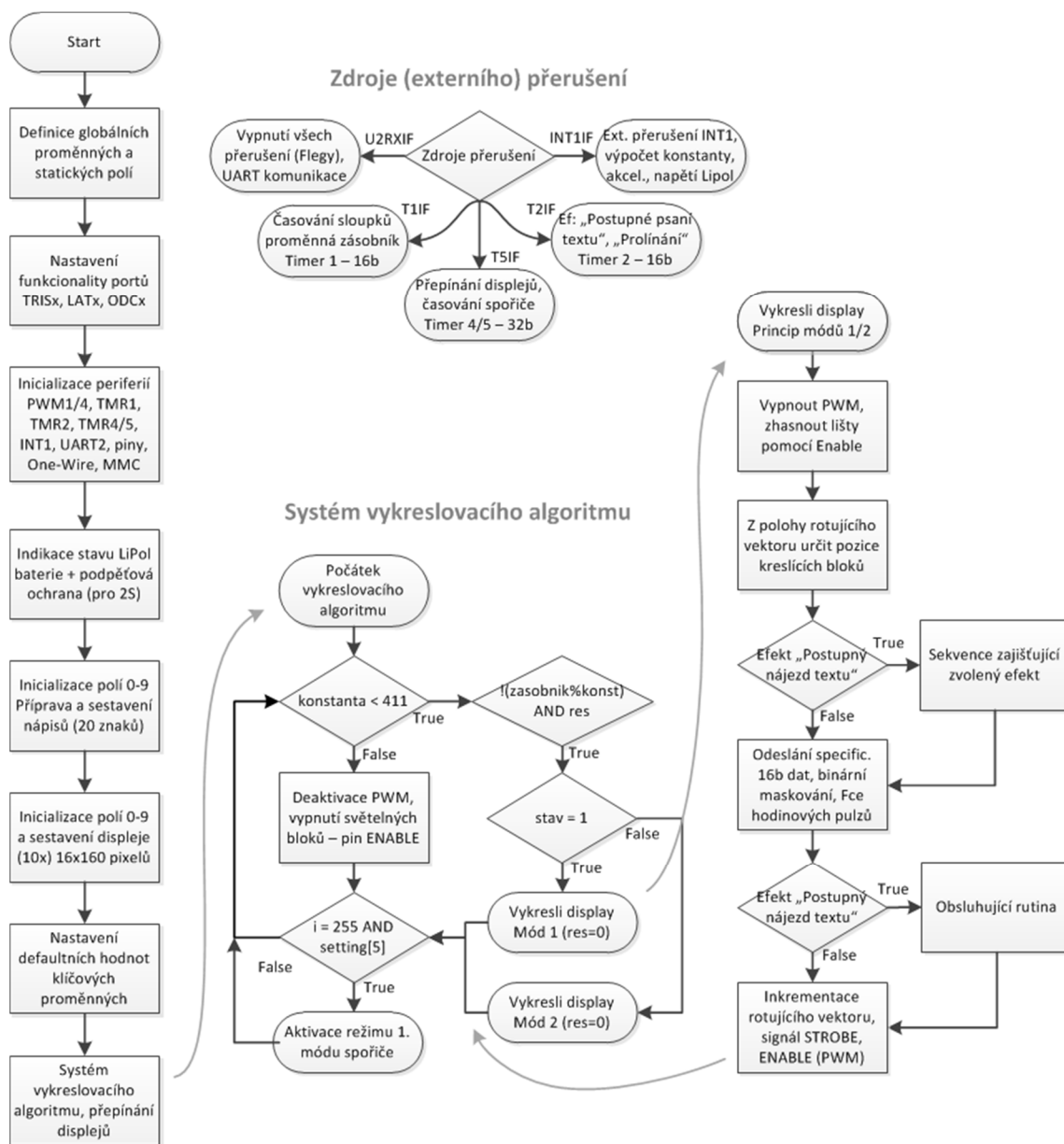
Obrázek 3.15 zachycuje fyzické propojení procesorových vývodů na výstupní konektor (10x2) centrální řídicí jednotky. Je zde patrné rozdělení na čtyři symetrické bloky, což odpovídá konektorům vykreslovacích panelů. Každý blok má vlastní kladné napájení umístěné záměrně uprostřed, aby nemohlo dojít otočením konektoru k nehodě. Piny RD0 a RD3 jsou společné vždy pro dvě lišty a podle grafické ilustrace se jedná o povolovací piny Enable.

Totožný odstín polí signalizuje softwarové propojení a tudíž i v této aplikaci stejnou funkcionalitu. Zvýrazněné piny RC13, RC14, RD6 a RD7 jsou ve výchozí poloze definovány konfiguračními pojistkami jako sekundární oscilátory.



Obrázek 3.15 – Fyzické a softwarové významy pinů centrální svorkovnice

### 3.4.2. Řešení software



Obrázek 3.16 – Zjednodušené blokové schéma softwarového algoritmu (model 4x16 LED)

Ihned po aktivaci procesoru, před hlavním programem void main(), proběhne nastavení nezbytných konfiguračních pojistek. Ty zahrnují volbu frekvence krystalu (External clock mode, XT, HS), frekvenční předděličky / násobičky, zdroj hodinových pulzů, konfiguraci USB struktur, hlídací systémy (WDT – Watchdog





Timer), ochrany. Konfigurační pojistky lze obvykle definovat při zakládání nového projektu (či později editovat), případně nastavit softwarově hned z úvodu. Po nich se následně definují globální proměnné, zpravidla viditelné napříč celého zbytku softwarového kódu. Proměnné globálního charakteru jsou voleny zejména díky úspoře výpočetního výkonu, kdy v každé funkci nejsou nutné inicializovat vlastní unikátní proměnné a se skončením opět řešit uvolnění alokovaných paměťových buněk. Tato metoda práce s informacemi zároveň umožňuje definovat veškeré funkce beznávratového typu void(). Definice dostupných symbolů pro vykreslování je příkazem CONST přesunuta z omezenější datové paměti RAM (32KB) do programové paměti typu ROM (512KB). Pole jsou zde kvůli svému rozsahu definovány jako unsigned int (0xFFFF) a jejich rozměr závisí na potřebách symbolů, tedy v rozmezí 3 až 12 prvků. Nastavení funkcionality portů konfiguruje jejich využitelnost. Šestnáctibitovým registrem AD1PCFG, zahrnujícím bity PCFG0 – PCFG15, jsou přepnuty do digitálního módu. TRISB až TRISG definuje komunikační směr, respektive vstupy / výstupy, LATx obdobně jako PORTx umožňuje přístup k pinům. Při čtení z registrů LATx se čte poslední uložená hodnota odpovídajícího portu, zatímco PORTx vrací logickou hodnotu externě přivedenou na pin. Registry ODCx, při nastavení odpovídajících TRISů jako výstupy, mají prostřednictvím CMOS ovladačů defaultně aktivní vlastnost Open-drain (jsou s otevřeným kolektorem) a proto musejí být deaktivovány.

Funkční blok inicializace periférií zahrnuje nastavení externího přerušení INT1, komunikačního kanálu UART, USB, One-Wire, charakteristické funkce pulzně šířkové modulace PWM (Pulse Width Modulation) inicializací (vázané na konkrétní typ kompilátoru), časovače TMR1, TMR2 a společného 32b módu TMR4/5. Časovač TMR3 je využit pro PWM kanály OC1 a OC4. Konfigurace pulzně šířkové modulace ve vývojovém prostředí MikroC PRO for PIC32 příkazem PWM\_Init() vyžaduje 4 parametry – požadovanou frekvenci v Hz, povolení pro konkrétní kanál X, předděličku časovače a volbu časovače TMR2 nebo TMR3. Příkaz PWM\_Set\_Duty nastavuje střidu danému PWM kanálu X. Časovač TMR1 se konfiguruje pomocí registru T1CON a zejména pak pomocí bitů T1IP, TCS, TCKPS a aktivačního bitu ON. T1IP <2:0> (Interrupt Priority) definuje prioritu přerušení v centrálním vektoru přerušení vůči ostatním zdrojům na hodnotu 3.



Existují ještě bity subpriority, což není v programu využíváno. Bit TCS (Internal Peripheral Clock) připojuje k časovači interní hodinový zdroj. Vektor TCKPS ovládá dělicí poměr předděličky v rozsahu 1, 8, 64, 256 pro TMR1. Časovač TMR1 je využíván pro výpočet doby otáčení kola a proto je dělicí poměr 1:1 a registr PR1 (Load Period Register) nabývá dekadické hodnoty 520. Ostatní časovače jsou nastavovány analogicky podle potřeby aplikace. Časovače TMR4 a TMR5 jsou spojeny do 32b režimu pomocí bitu T32 v registru T4CON, který dále nastavuje vlastnosti chování obou časovačů, nyní jako jednoho celku. Flag přerušení přichází od koncového prvku T5IF, povolovaného bitem T5IE (TMR5 Interrupt Enable). Externí přerušení modifikuje registr INTCON prostřednictvím bitů TPC (Interrupt Proximity Timer Control bits), INT1EP (Falling / Rising edge) a MVEC (Interrupt controller configured for Multi-Vectored mode). Priorita a subpriorita je opět řízena vektory registru IPC1 a je jí přiřazena vyšší náležitost, čili hodnota 6. Ostatní periferie jsou nad rámec zadání, a proto zde budou úmyslně opomíjeny.

Podle vývojového diagramu čtvrtý funkční blok zajišťuje, prostřednictvím výstražných kontrol na centrální řídicí jednotce, indikaci napájecí baterie. Jejím vybitím pod hranici, limitující technologií 2S LiPol či LiFePO<sub>4</sub> akumulátorů, by došlo k její nenávratné vnitřní destrukci a proto je signalizace či nouzové odpojení nezbytné.

Příprava polí a sestavení nápisů provede v prvním kroku nezbytné formátování paměťových bloků. Bez tohoto formátování jinak dojde k omezení rozměrů na velikost výchozího textu, což později sebou přináší komplikace. Další fáze pomocí dvou v sobě vnořených cyklů projede dvoudimenzionální pole typu char DefaultniText[10][20] a překopíruje obsah (souvislé texty), reprezentující symboly ASCII tabulky do pracovní proměnné text[i][i2]. Na ní přímo navazuje funkce sestavující displej, která prvním krokem opět provede vyprázdnění náhodných hodnot z celého pracovního prostoru display[10][160]. První parametr rozsahu umožňuje definovat až 10 (0-9) nezávislých textových polí s 20 znaky. Číslo 160 signalizuje počet šestnácti pixelových vertikálních sloupků zahrnutých v celém rozsahu LED displeje. Tato hodnota vychází z vizuálního podkladu čtvercových polí a matematické dělitelnosti. Naplnění pole display[x][y] hodnotami probíhá





v optimalizovaném módu pomocí 5 cyklů. Hlavní smyčka pracuje s proměnou `text[i][0]`, kdy nesmí dojít k nalezení nulového prvku. Proměnná `i5` hlídá horní maximální mez počtu sloupků displeje a určuje umístění symbolů a mezer mezi znaky a slovy. Vnořená smyčka projíždí druhou dimenzi `text[i][i2]`, čili konkrétní znaky slov (výrazů), které jsou následně dohledávány v konstantní proměnné `symboly[i3]`. Identifikovaná shoda symbolu odkazuje přes ukazatele na konstantní adresu prvního řádku konkrétního symbolu definovaného v paměti. Následující smyčka pak projede inkrementací virtuální adresové proměnné celý symbol až do ukončovacího bodu, obsaženého v každém symbolu, a překopíruje obsah do pole `display[i][i5]`. Po skončení tohoto procesu se zaznamená pro další účely počet aktivních textů.

Před náběhem prvního vykreslovacího cyklu se nyní ještě provede nastavení defaultních hodnot proměnných `temp`, korekce, `zasobnik`, konstanta a vyprázdní se hodnoty vyrovnávacích pamětí a registry časovačů.

Při splnění podmínky týkající se rychlosti jízdy, se před vykreslovacími sekvencemi nachází ještě jedna, udávající časování svícení sloupků segmentů. Ta je vázána na hodnotu dříve vypočítané konstanty a prostřednictvím časovače `TMR1` na aktuální hodnotu `zasobnik`. K její splnění dochází při negaci bezrezbytkového podílů zmíněných proměnných, tedy 160 krát za jednu otáčku kola. Samotné vykreslování pak probíhá poslední vnořenou rutinou. Ta úvodním krokem zhasne vykreslovací bloky, `PWM_Stop(x)` a piny `RD0` a `RD3` napojeny na Enable lišt vynuluje. Poté se na základě naměřených údajů vypočítá aktuální předpokládaná pozice všech vykreslovacích bloků v rozsahu 0 až 159. Šestnácti kroková smyčka v každém kroku připraví na všechny čtyři datové piny (`RD7`, `RE7`, `RF1` a `RD6`) binární informace a odešle hodinový impulz. Binární hodnota z dvoudimenzionální proměnné `display[x][y]` se získá bitovou rotací a následným maskováním. Vykonáním cyklu se inkrementuje hodnota rotujícího vektoru, odešle na piny (`RE0`, `RE1`, `RE5`, `RE6`) signál `Strobe` a zapne vykreslování. Do celého, zjednodušeně popsaného procesu mohou být implementovány řady různých efektů, které rozšiřují vizuální podání kompletního výrobku.



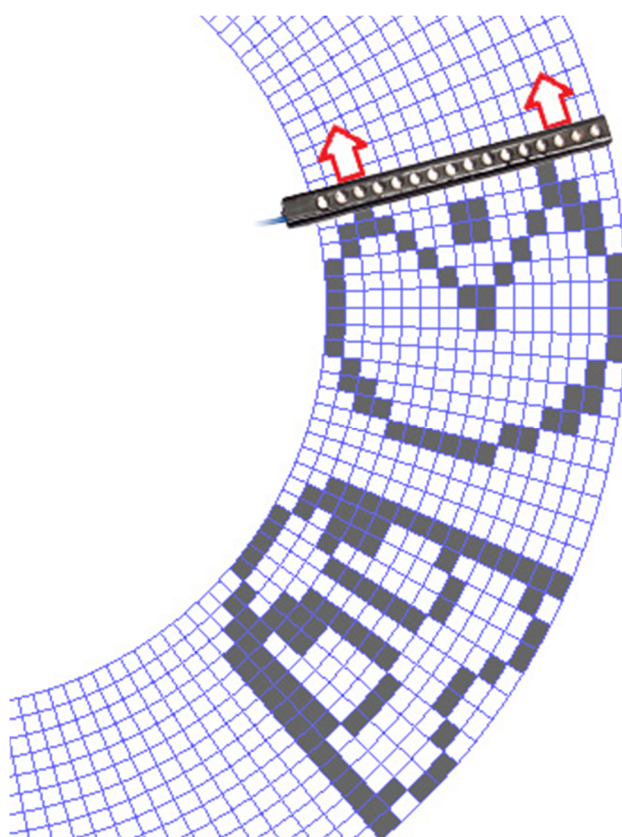
V rámci zadání mezi důležité zdroje přerušení patří externí přerušení vyvolané optickou závorou na pinu RD8/INT1 a od časovače TMR1. V rutině externího přerušení dochází na základě naměřených údajů k výpočtům aktuální vykreslovací konstanty, ve které jsou dále zahrnuty i prvky jisté predikce rychlosti následující (budoucí) otáčky. Je zde hlídána minimální bezpečná napěťová hladina 2S akumulátorů. Funkce CetnostSekvenci() obsluhovaná časovačem TMR1 inkrementuje proměnnou zasobník, stará se o přepínání textů a aktivaci spořiče.



## 4. Výsledný efekt

Výsledný efekt bakalářské práce by bylo možné strukturovat jednotlivě pro každou verzi centrální řídicí jednotky s patřičnými světelnými lištami. Poslední dokončená verze funkčního modelu 4x16 LED je považována za nejpropracovanější typ, shrnující všechny výhody a dosažené cíle předchozích prototypů, a proto zde bude věnována pozornost především jí.

LED display zabudovaný v drátech jízdního kola, prostřednictvím fotochemické setrvačnosti lidského oka vytváří iluzi souvislého vykreslovacího panelu, zaobleného okolo středu kola. Takto vytvořený jednobarevný grafický prvek s reálným rozlišením 160x16 obrazových bodů (pixelů) vzniká až od specifické rychlosti jízdy. Konkrétní čísla týkající se minimální potřebné rychlosti pro plynulé snímkování však nelze jednoznačně vyjádřit, jsou výsledným podílem několika rozdílných faktorů. Kombinace čtyř současně vykreslovacích bloků redukuje požadovanou rychlost jízdy na  $\frac{1}{4}$  původní při zachování totožných optických vjemů.



Obrázek 3.17 – Podoba grafického displeje s obrazovým rozlišením 160x16 pixelů



Použití více světelných, navzájem překrývajících se bloků, kromě plynulosti vykreslování, přináší i další výhody spojené s maximálním jasnem celkového displeje. U prvních dvou popsaných verzí, tedy 1x8 a 2x12 LED, byl výsledný jas určen pouze jedním sloupkem X diod. Verze 2x12 LED fungovala na principu multiplexování bloků a proto mohl být v daný okamžik aktivní vždy jen jeden segment. Pokročilá elektronika centrální řídicí jednotky a implementace obvodů s paměťovým efektem do těl vykreslovacích bloků umožňuje současný aktivní stav všech prvků. Tím se sčítají hodnoty intenzit diod  $I$  v grafickém řádku a stoupá celkový maximální dosažitelný jas displeje  $L$ .

$$L = \frac{I \cdot x}{S \cdot \cos \alpha} \text{ [cd/m}^2\text{]} \quad [5]$$

Synchronizaci a zajištění stabilní počáteční polohy umožňuje, v poslední verzi, optická závora umístěná na napájecím komutátorovém systému. S její absencí by docházelo k rotaci počáteční hranice displeje a nemožnosti výpočtu vykreslovacích konstant. Některé amatérské koncepty z tohoto předpokladu mohou vycházet, ale tím automaticky zaniká pevná definice šířky a počtu pixelů, která je klíčovým předpokladem pro využití více světelných bloků.

Výsledný efekt LED displeje podporuje vykreslování textů v několika definovaných zněních s možností aktivace přídatných bonusových efektů. Podoba displeje může být, podle uživatelem definovaného času v sekundách, ostře přepínána či plynule prolínána. Další efekt spojený se zvýšením čitelnosti nápisů a lepší interpretací počátku (včetně natočení) během pohybu je v programu označován jako „postupné psaní textu“. Displej je připraven i pro následné budoucí úvodní animace a další možnosti či rozšiřující efekty.



## Závěr

Základním úkolem bakalářské práce bylo navrhnout a realizovat hardware, s odpovídajícím softwarovým vybavením, inteligentního LED displeje zabudovaného v drátech jízdního kola. Tyto cíle byly v plném rozsahu splněny. Informace z teoretické části později posloužily při praktické realizaci a dimenzování popsaných obvodů.

V praktické části je z úvodu představen koncept mechanického rozmístění komponent včetně popsání realizace z diskretních částí. Funkční modely ve složení centrální řídicí jednotky a vykreslovacích bloků se vyvíjely podle potřeb aplikace ve čtyřech testovacích verzích. Poslední pátou pak lze označit za finální prototyp, shrnující všechny dosažené cíle a výsledky. Tato verze využívá implementace elektroniky (zejména posuvných registrů) do těl vykreslovacích bloků, čímž se otevírají nové možnosti řízení a redukce vodičů. Jádrem se stal procesor PIC32MX440F512H s 32bitovou architekturou, vysokým výpočetním výkonem, mnoha periferiemi a obsáhlou interní datovou pamětí. Obsah práce zahrnuje kompletní podklady hardwarových návrhů řídicích jednotek, problematiku snímání senzorů, stabilizace a přenosu napětí. Podle vývojových diagramů jsou zde detailně rozepsány chody programů.

Poslední dokončená verze centrální řídicí jednotky a vykreslovacích bloků byla před oficiálním publikováním zde ve zprávě podrobena několika fázím zátěžových testů. Konstrukce, časově během jednoho roku, odolávala provozním mechanickým vlivům, mezi které patří značné vibrace, odstředivé síly a samozřejmě také uživatelská neopatrnost. Za testováním odolnosti stojí přes 1.000 ujetých kilometrů, z toho pak 420km v horských terénních podmínkách s maximální rychlostí jízdy až okolo 60km/h. Vzdálenosti a další parametry byly zaznamenávány aplikací Endomondo Sports Tracker. Výrobek byl dále testován povětrnostními vlivy, které mohou při jízdě náhodně nastávat. Díky dobrému krytí a technice SMD jsou obvody zcela imunní proti zkratům a oxidaci plošných spojů vyvolaných vlhkostí ovzduší v podobě srážek nebo stojatou vodou s nižší hladinou.

Obvody do budoucna nabízejí perspektivní vyhlídky v možnostech využívání nových periférií, zejména komunikačních. Očekává se i softwarový vývoj směřující k zaznamenávání dat na MMC, možnost uživatelsky jednodušší tvorby animací a efektů.

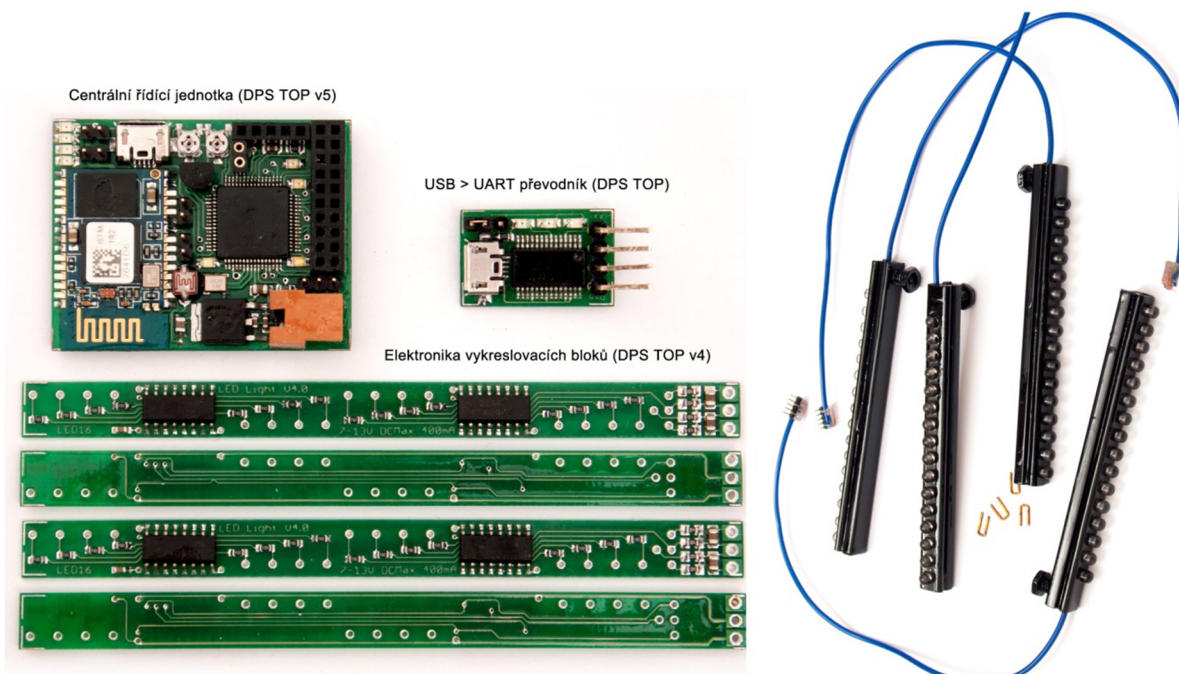
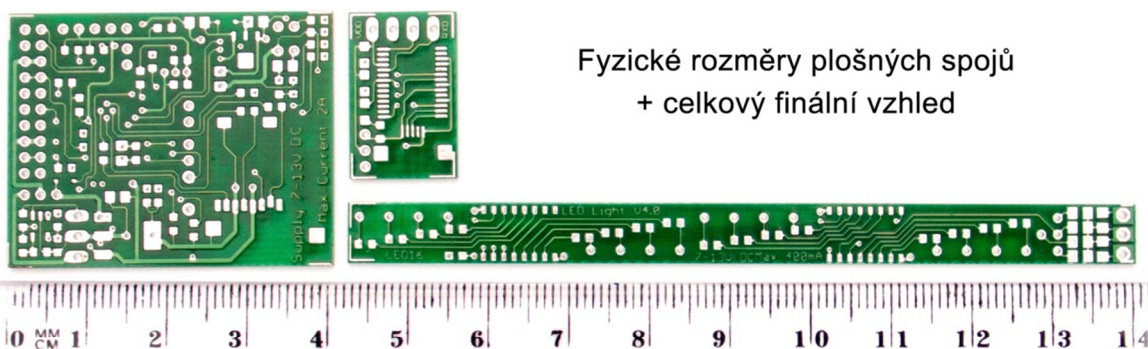
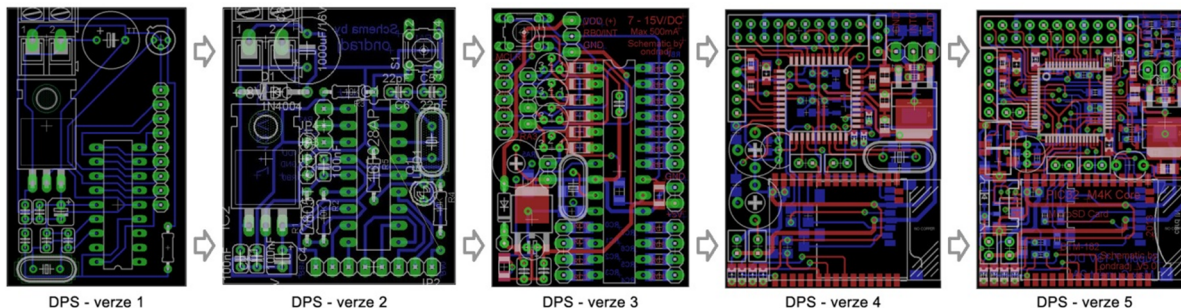


## Seznam použité literatury

- [1] VNUF: Měření setrvačnosti lidského oka [online] - [cit. 2013-03-20], URL:  
<<http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/16-13-Kehar.html>>
- [2] Vinklarek: Používání akumulátorů Li-Pol [online] - [cit. 2014-04-20], URL:  
<<http://www.vinklarek.cz/NavodLipo1.htm>>
- [3] Moje Modely: Li-Pol baterie [online] - [cit. 2014-04-20], URL:  
<[http://www.mojemodely.cz/clanky/prechod\\_na\\_lipo.htm](http://www.mojemodely.cz/clanky/prechod_na_lipo.htm)>
- [4] Diit: LiFePO4 info [online] - [cit. 2012-05-20], URL:  
<<http://diit.cz/clanek/lifepo4-akumulatorovy-zazrak-miri-i-do-tuzkovych-baterek>>
- [5] Wikipedia [online], Heslo: Mikrokontrolér PIC - [cit. 2014-02-17], URL:  
<<http://cs.wikipedia.org>>
- [6] Sos electronic: Spínaný zdroj za pár minut [online] - [cit. 2014-05-13], URL:  
<<http://www.soselectronic.cz/?str=962>>
- [7] Wikipedia [online], Heslo: LED - [cit. 2014-02-17], URL: <<http://cs.wikipedia.org>>
- [8] Mikrokontroléry PIC: Unipolární logické obvody [online] - [cit. 2014-04-20], URL:  
<<http://mikrokontrolery-pic.cz/zaciname/cislicova-technika/hardwareva-realizace-logickych-obvodu/unipolarni-logicke-obvody-cmos/#Logicke-obvody-CMOS>>
- [9] Katalogové listy součástek firem Microchip, ST, NXP.
- [10] Ďaďo, S., Kreidl, M.: Senzory a měřicí obvody. Vydavatelství ČVUT Praha 1999
- [11] Pinker, J.: Mikroprocesory a mikropočítače. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 159 s. ISBN 80-730-0110-1
- [12] Google.cz: Obrázky [online] - [cit. 2012-05-20], URL: <<https://www.google.cz>>
- [13] Plíva, Z., Drábková, J.: Metodika zpracování diplomových, bakalářských a vědeckých prací na FM TUL. Liberec: FM TU v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-189-3.



## Grafické přílohy bakalářské práce



*Vývoj, rozměry a vzhled osazených DPS centrální řídicí jednotky a vykreslovacích bloků*



*Reálná vizuální podoba nápisu během konstantní rychlosti jízdy*